



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JENNI ILOMÄKI  
EKODESIGNIN TOTEUTUS JA HAASTEET  
ELEKTRONIIKKATEOLLISUUDEN PK-YRITYKSESSÄ

Diplomityö

Tarkastajat: professorit Lauri Sydänheimo ja Leena Ukkonen  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Tieto-  
ja sähkötekniikan tiedekuntaneuvos-  
ton kokouksessa 4. toukokuuta  
2016

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan koulutusohjelma

**ILOMÄKI, JENNI:** Ekodesignin toteutus ja haasteet elektroniikkateollisuuden pk-yrityksessä

Diplomityö, 69 sivua, 2 liitesivua

Toukokuu 2016

Pääaine: Elektroniikan tuotesuunnittelu

Tarkastajat: professorit Lauri Sydänheimo sekä Leena Ukkonen

Avainsanat: elektroniikkateollisuus, pk-yritys, ekodesign, elinkaarianalyysi

Elektroniikkateollisuuden tuotteet ovat tyypillisesti monimutkaisia laitteita, joiden valmistuksessa on käytetty useita eri materiaaleja ja pitkälle kehitettyjä, hienovaraisia tekniikoita. Tyypillinen elektroniikkalaite koostuu useasta alikokoonpanosta ja alimoduulista, jotka taas saattavat sisältää useita satoja komponentteja. Laitteiden monimutkaisuus aiheuttaa erityisiä haasteita tuotteista aiheutuvien ympäristötaakkojen määrittelyssä ja niitä arvioivien työkalujen käytössä: monimutkaisten rakenteiden kattavaan mallintamiseen vaaditaan suuri määrä tarkkaa tuote- ja prosessi-informaatiota.

Ympäristölainsäädännössä erilaisten direktiivien pohjalta on asetettu sääntöjä ja määräyksiä, jotka yritysten on huomioitava tuotekehityksessään. Ainerajoitukset, kierrätyksen tuottajavastuu sekä energiamerkinnät asettavat yhä tiukempia vaatimuksia tuotesuunnitteluun ja lisäksi painetta yrityksen toiminnan systemaattiselle ympäristöjohtamiselle sekä ympäristötehokkuuden mittaamiselle. Nämä vaatimukset ovat samat yrityksen koosta riippumatta, joten erityisen kiinnostavaa on tutkia miten pienet ja keskisuuret yritykset haasteen edessä onnistuvat. Käytävissä olevien työkalujen monimutkaisuus ja soveltumattomuus pienten yritysten tarpeisiin on yleinen ongelma ja vaarana on, etteivät pk-yritykset pian pysty vastaamaan lakien asettamiin vaatimuksiin.

Diplomityö on toteutettu kirjallisuustutkielmana, jonka lähdeaineistona on käytetty tutkittavan alan tutkimusartikkeleita, julkaisuja sekä muuta kirjallisuutta. Tutkielma jakaantuu kahteen osa-alueeseen. Työn alussa esitellään teorian kannalta oleelliset aihealueet kuten ekodesign ja elinkaarenhallinta, aiheeseen liittyvä ympäristölainsäädäntö sekä pienten ja keskisuurten yritysten erityispiirteet. Toinen osa keskittyy tutkimusaineiston kriittiseen analyysiin, jonka pohjalta luodaan käsitys aihepiiriin akateemisen tutkimuksen nykytilanteesta kahdella eri viitekehyksellä. Ensimmäisen viitekehyksen avulla analysoidaan tutkimuksen teoreettisuutta ja yleisluontoisuutta. Toisen viitekehyksen avulla keskitytään tarkastelemaan elinkaariajattelun toteuttamisen esteitä suhteessa pk-yrityksille suunniteltujen ekotyökalujen ominaisuuksiin ja siihen, miten hyvin työkalujen suunnittelussa on yleisimmät ongelmat osattu ottaa huomioon.

Työn tärkein analyttinen lopputulos on antaa moniulotteinen kuva elektroniikkateollisuuden pk-yritysten ympäristöjohtamisen nykytilasta ja siihen liittyvistä ongelmista. Pääteemojen analyysin perusteella on työn lopussa annettu kehitysehdotuksia, jotta tulevaisuuden tutkimus keskittyisi pk-yritysten kannalta oleellisimpien ympäristöjohtamiseen liittyvien haasteiden ratkaisemiseen.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

**ILOMÄKI, JENNI:** The realization of Ecodesign and its challenges for SME's in the electronics industry

Master of Science Thesis, 69 pages, 2 Appendix pages

May 2016

Major: Electronics Product Development

Examiners: Professors Lauri Sydänheimo and Leena Ukkonen

Keywords: electronics industry, SME, ecodesign, life cycle analysis

In electronics industry products are complex, and in their production various high-tech materials and sensitive production techniques are used. A typical product is assembled using multiple subsets and submodules which might consist of hundreds of components. The level of complexity of the products creates special challenges in environmental evaluation. It causes challenges also for the evaluating tools: modelling requires a great deal of specific product and process information data.

In environmental directives rules and specifications are specified. Those requirements need to be taken into account in product development practices. Substance restrictions, producer responsibility in recycling and energy labels set strict requirements in design and create pressure for systematic environmental management as well as measuring the environmental performance. The requirements are the same regardless of the size of the company, therefore the performance of small and medium companies is interesting to examine. The complexity and non-compliance of the eco-tools for the SME needs are common problems and there is a danger that SME's are not able to comply with legislative requirements.

The master's thesis is conducted as a literature review based on academic research, publications and other literature. The study is divided into two sections. In the beginning, the relevant areas are presented such as eco-design and life cycle management, environmental legislation and the special characters of SME's. In the second section, the focus is in a critical analysis of the source material. Additionally, the current status of the academic research is formed using two different frameworks. With the first framework the theoretical level and generalization is analyzed. With the second framework barriers for life cycle thinking in contrast of the eco-design tool development is analyzed. This is done with a special focus on how those barriers are considered in the tool properties.

The most important analytical contribution of this thesis is to give multi-perspective view of the current status of the environmental management activities as well as the problems that the SME's face within that area in the electronics industry. In the discussion part of the study, based on the analysis, the future research areas are suggested. Propositions are given with the emphasis of how to facilitate the main problems of the SME's in the field of environmental management.

## ALKUSANAT

Elämä etenee sykleissä: toinen vaihe loppuu ja toinen alkaa. Jokainen sykli on oppimiskokemus ja niiden yhteisvaikutus on tehnyt minusta sellaisen kuin nyt olen. Tunnustan, että en koskaan oikein tosissani uskonut valmistumiseeni. Ajatus siitä, että saan kutsua itseäni diplomi-insinööriksi, tuntui todella kaukaiselta. Se on ollut pitkäaikainen unelmani ja nyt vihdoinkin totta. Tähän tilanteeseen liittyy paljon tunnetta, joista päällimmäisin on ylpeys. Olen ylpeä itsestäni ja saavutuksistani. Olen ylpeä siitä, että jaksoin panostaa ja kouluttautua. Olen ylpeä. Olen onnellinen.

Tämä diplomityö on ollut pitkä prosessi ja kiitos sen onnistumisesta kuuluu työni tarkastaville professoreille eli Lauri Sydänheimolle sekä Leena Ukkoselle. He joustivat silloin kun sitä tarvitsin ja kaikki kääntyi lopulta parhain päin. Lisäksi tahdon kiittää koko Elektroniikan laitosta ja yleisesti Tampereen teknillistä yliopistoa siitä, että sain mahtavat eväät tulevaisuuteen.

Edellisten kiitosten ohella tahdon antaa erityiskiitoksen siskolleni Marialle, joka on tukenut minua koko tämän prosessin ajan ja antanut viisaita neuvoja työn paranteluun. Tahdon myös kiittää isovanhempiani Vilmaa ja Einoa, jotka ovat aina jaksaneet kannustaa minua opiskeluissa. Lisäksi tahdon antaa ison huomion ystäväilleni, joiden ansiosta opiskeluajat ja muu elämä sen ohessa on ollut erityistä. Viimeiseksi tahdon kiittää isääni Jaria, joka esimerkiksi ohjasi minut teknilliselle urapolulle ja joka jaksoi opettaa minulle matematiikan saloja. Helpottunein tuntein päätän tämän syklin.

Helsingissä, 25.5.2016

Jenni Ilomäki

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Kirjallisuustutkielman tausta ja motivaatiotekijät.....	1
1.2	Tutkimusongelma ja tutkimuskohteet .....	2
1.2.1	Tutkielman pääongelman esittely ja tutkimuskysymykset .....	3
1.3	Kirjallisuustutkielmassa käytetyt menetelmät.....	4
1.4	Työn jäsentelyn esittely.....	5
2.	ELEKTRONIIKKATEOLLISUUS JA EKODESIGN.....	7
2.1	Ekodesign - määritelmä.....	7
2.2	Tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka ja muu lainsäädäntö .....	8
2.2.1	EuP-puitedirektiivi .....	10
2.2.2	WEEE-direktiivi.....	10
2.2.3	RoHS- direktiivi.....	11
2.2.4	REACH-kemikaaliasetus .....	12
2.3	Ekodesignprosessin kehittyminen elektroniikkateollisuudessa .....	12
2.4	Ympäristövaikuttamisen tärkeimmät osa-alueet .....	13
2.5	Ohjelmiston merkityksen korostuminen .....	14
3.	ELINKAARIANALYYSI PÄÄTÖKSENTEON VÄLINEENÄ.....	16
3.1	Elinkaarianalyysi, Life Cycle Assessment (LCA) .....	16
3.1.1	Tuotteen elinkaari .....	17
3.1.2	Analyysin vaiheet.....	19
3.2	Elinkaarianalyysi elektroniikkatuotteille.....	21
3.2.1	Lähtökohdat ja analyysin laajuuden määrittelevät tekijät.....	22
3.2.2	Päätöksenteon epävarmuustekijät .....	24
3.2.3	Yleiset mallit ja niiden hyödyntäminen .....	26
3.2.4	Tuotetieto ja sen hallitseminen .....	28
4.	PK-YRITYSTEN KENTTÄ.....	30
4.1	Pienet ja keskisuuret yritykset.....	30
4.2	Yritysverkostot ja toimittajien asema.....	31
4.3	Ajurit ekodesignin täytäntöönpanoon .....	34
4.4	Kuluttajien merkitys ympäristön huomioimisessa .....	35
4.5	Ympäristöjohtamisen nykytila pk-yrityksissä.....	36
5.	TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO.....	39
5.1	Kirjallisuustutkielman analyysivaiheen määrittely .....	39
5.2	Artikkelien käsittelemät teemat yleisellä tasolla.....	41
5.3	Ympäristötyökalun kehittäminen elinkaarianalyysin ongelmien perusteella... .....	43
5.3.1	Elinkaarianalyysin ongelmat ja työkalun vaatimukset.....	43
5.3.2	Työkalun ominaisuuksien määrittäminen elinkaarianalyysin ongelmien pohjalta .....	46

6.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	55
6.1	Nykytutkimuksen tila, pääkohdat ja fokus.....	55
6.1.1	Tutkimuskysymykset .....	56
6.1.2	Tulevaisuuden kehityssuunnat .....	57
6.1.3	Tutkielman kriittinen arviointi .....	60
6.2	Pohdinta ja tulevaisuuden tutkimuskohteet.....	61
	LÄHTEET.....	65

## KUVALUETTELO

<i>Kuva 2.1</i>	<i>Yhdenntetyn tuotepolitiikan osa-alueet (mukaillen Charter et al. 2001, p.104).</i> .....	9
<i>Kuva 3.1</i>	<i>Elinkaaren aikaisten vaikutusten mallinnus syklisessä muodossa (mukaillen Rebitzer et al. 2004).</i> .....	18
<i>Kuva 3.2</i>	<i>Elinkaarianalyysin eri vaiheiden määrittely ja keskinäinen vuorovaikutus (ISO 14040:1997).</i> .....	19
<i>Kuva 3.3</i>	<i>Tuotetiedon epävarmuuslähteet (mukaillen Finnveden et al. 2009, p.14).</i> .....	25
<i>Kuva 3.4</i>	<i>Tuotetiedon eri tasot (mukaillen Warburg et al. (2005) &amp; Nissen et al. (1997)).</i> .....	27
<i>Kuva 5.1</i>	<i>Diplomityön tutkimusaineistona käytettyjen artikkelien lukumäärät sekä niiden jakautuminen aihepiireittäin.</i> .....	40
<i>Kuva 5.2</i>	<i>Kirjallisuustutkielman artikkeleissa esiintyvät tutkimuskohteet ja niiden kehittyminen ajan myötä.</i> .....	41

## TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1</i>	<i>Ydinartikkelien sijoittuminen nelikenttään, joka kuvaa tutkimusaineiston teemoja. ....</i>	<i>42</i>
<i>Taulukko 2</i>	<i>Ydinartikkelien ja yleisen tutkimuksen sijoittuminen nelikenttään, joka kuvaa tutkimusaineiston teemoja. ....</i>	<i>43</i>
<i>Taulukko 3</i>	<i>Tekijät, jotka mainitaan kirjallisuudessa merkittävimiksi esteiksi ekodesigntyökalujen käyttämiseen pk-yrityksissä.....</i>	<i>44</i>
<i>Taulukko 4</i>	<i>Tekijät, jotka mainitaan kirjallisuudessa tärkeimmiksi ympäristötyökalun ominaisuuksiksi pk-yrityksen näkökulmasta. ....</i>	<i>45</i>
<i>Taulukko 5</i>	<i>Kirjallisuudessa mainittujen esteiden ja työkalun ominaisuuksien yhdistäminen yhteisten kokonaisuuksien alle. ....</i>	<i>47</i>
<i>Taulukko 6</i>	<i>Ydinartikkeleiden analyysi: Aineiston analyysi nelikentän akseleiden mukaan, jossa Y- akselin arvoista Y = yleistutkimus, T = työkalu ja X-akselin arvoista T = teoreettinen, K = konkreettinen. ....</i>	<i>71</i>
<i>Taulukko 7</i>	<i>Ydinartikkeleita tukevan aineiston analyysi nelikentän akseleiden mukaan, jossa Y- akselin arvoista Y = yleistutkimus, T = työkalu ja X-akselin arvoista T = teoreettinen, K = konkreettinen.....</i>	<i>71</i>



## LYHENTEET JA MERKINNÄT

BOM	engl. Bill of Materials, komponenttilistaus
CAD	engl. Computer Aided Modelling, tietotekninen mallintaminen
DfE	engl. Design for Environment, tuotesuunnittelun viitekehys tai toiminnot vähentää tuotteen ympäristövaikutuksia
EMS	engl. Environmental Management System, ympäristön hallintamenetelmä
EPD	engl. Environmental Product Declaration, tuotteen ympäristöselvitys
IPP	engl. Integrated Product Policy, EU:n yhdenmukainen tuotepolitiikka
LCA	engl. Life Cycle Assessment, elinkaarianalyysi
LCI	engl. Life Cycle Inventory, inventaarioanalyysi
LCIA	engl. Life Cycle Impact Assessment, vaikutusanalyysi
ROHS	engl. Restriction of the use of certain hazardous substances, EU:n kemikaaliasetus
SME	engl. Small and Medium Enterprise, pienet ja keskisuuret yritykset
WEEE	engl. Waste Electrical and Electronic equipment, EU:n kierrätysdirektiivi

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Kirjallisuustutkielman tausta ja motivaatiotekijät

Elektroniikkateollisuus ja sen tuotteet ovat kehittyneet valtavasti viimeisten vuosikymmenten aikana (Andersen et al. 2014). Laitteet ovat yhä monimutkaisempia eivätkä ne toteuta tyypillisesti enää vain yhtä toiminnallisuutta. Teknologian kehittyminen on mahdollistanut yhä pienempien, mutta tehokkaampien, tuotteiden valmistuksen, jotka ovat saatavilla alituisen kasvavalle joukolle ihmisiä. Kehitys on mahdollistanut monimutkaisempien laitteiden valmistuksen, sekä samalla tehokkaampien tuotantoprosessien kehittämisen, jolloin yksikkökustannukset pienenevät ja kannattava massatuotanto on mahdollista. (Guldbrandsson & Bergmark 2012) Nopea kehityskulku tarkoittaa samalla myös lyhentyviä tuote-elinkaaria: tuotteet vanhenevat nopeammin ja laitteiden määrä materiaalikierrossa on suurempi kuin koskaan ennen. Kehitys lisää käytöstä poistuvien laitteiden määrää ja siten myös kasvattaa syntyvän elektroniikkaromun ja -jätteen määrää.

Teknologian kehityksen ohessa myös ympäristötietoisuus on lisääntynyt ja luonnon tilasta ja ihmisen toimien vaikutuksista ollaan tultu yhä tietoisemmiksi. Elektroniikkateollisuuden ominaispiirteitä ovat nopeat tuotantoketjut ja tuotteiden lyhyet elinkaaret teknologian jatkuvan kehittymisen seurauksena (Andersen et al. 2014; Camp & Khalifa 2011). Elektroniikkateollisuuden tuotteet ovat erityisiä etenkin ympäristöystävällisyyden kannalta, sillä niiden tuotannossa tai itse tuotteissa käytetyt materiaalit ovat tyypillisesti monimutkaisia yhdisteitä ja materiaalien jalostuksessa käytetyt aineet ympäristöä kuormittavia. Ympäristön kannalta elektroniikkatuotteet ovat siis valmistusteknisistä syistä kriittinen tarkastelukohde, sillä valmistuksessa käytettävien kemikaalien hallittu käyttö on todella tärkeää. (Nissen et al. 1997) Toinen tärkeä elementti elektroniikkatuotteissa on oikeanlaisesta jatkokäsittelystä ja kierrättämisestä huolehtiminen tuotteen elinkaaren päättyessä. Ideaalitapauksessa elektroniikkaromusta saadaan kerättyä ja eriteltyä kaikki materiaalit uudelleen käytettäväksi, mutta todellisuudessa elektroniikkatuotteissa käytettyjen komponenttien mikrorakenteet ovat hankalia tai jopa mahdottomia kierrättää sataprosenttisesti.

Erilaisten strategioiden kehittäminen ympäristöystävällisyyden parantamiseksi nähdään tärkeänä niin luonnon kannalta, kuin myös yritysimgon nostattajana. (Baumann et al. 2012) Kestävän kehityksen strategiat ovat pitkään perustuneet vapaaehtoisuuteen, mutta ajan myötä yritysten toimintaa on alettu säädellä myös lakisääteisin määräyksin. (Schischke et al. 2006). Järjestelmällinen ympäristöjohtaminen on tyypillisesti mukautettu osaksi yrityksen muuta strategista kokonaisuutta – esimerkiksi osaksi laatujohtami-

sen toimia – ja sitä voidaankin pitää enemmän suurten organisaatioiden mahdollisuutena (Lindahl 1999). Ympäristöjohtaminen ja siihen liittyvien työkalujen käyttö ja toiminnan analysointi vaativat erikoisosaamista ja siten pienempien yritysten mahdollisuudet ovat tässä suhteessa paljon heikommalla suuressa yrityksiin verrattuna. (Schischke et al. 2006)

Kuluttajien valinnat ja heidän asettamansa vaatimukset vaikuttavat oleellisesti markkinoilla olevien tuotteiden ominaisuuksiin: ympäristötietoisuus ja ekologinen kuluttaminen asettavat paineita ympäristöystävällisten tuotteiden kehittämiselle. Tämä paine kohdistuu pääosin suoraan lopputuotteiden valmistajiin ja kokoonpanijoihin, jotka ovat tyypillisesti suurempia emoyhtiöitä, joilla on monimutkaisia hankintaverkostoja. Toimittajapuolella suurta roolia näyttelevät pienet ja keskisuuret yritykset (merkitään myös lyhenteellä pk-yritykset), joihin asiakkaiden asettamat ympäristövaatimukset myös välillisesti kohdistuvat. Nämä vaatimukset ovat tällä hetkellä tyypillisesti toimitettujen komponenttien ja alikokoonpanojen datalehtiä, energiankulutukseen liittyviä todistuksia yms. (Charter et al. 2001) Käytännössä voidaan siis sanoa teollisuuden suhtautumisen ympäristöasioihin riippuvan erityisen paljon siitä, onko kyseessä lopputuotevalmistaja vai vain toimittaja – yritykseen kohdistuvat vaatimukset ja asetetun paineen taso ovat näissä kahdessa tilanteessa hyvin erilaiset (Schischke et al. 2012).

On oleellista huomata, että tuotteiden elinkaarenhallinta koostuu useammasta elementistä ja ympäristötaakan minimointi on vain yksi osa tätä kokonaisuutta. Tuotteeseen vaikuttavista muista osa-alueista voidaan mainita tuotteiden valmistamisen terveydelliset vaikutukset tuotantohenkilöstöön ja näiden riskienhallinta yleisen turvallisuuden saavuttamiseksi. (Kärnä 2005) Tässä työssä keskitytään kuitenkin tarkastelemaan tuotteen ympäristövaikutuksia sen elinkaaren aikana ja rajataan yhteiskuntavastuun sosiaalinen puoli aiheen ulkopuolelle.

## 1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuskohteet

Euroopassa pienten ja keskisuurten yritysten määrä on verrattain suuri, ja näiden yritysten aiheuttamalla ympäristötaakalla on iso merkitys koko markkinakentässä. Pk-yritysten keinot hallita oman toiminnan ympäristökuormitusta ovat oleellisesti erilaiset verrattuna suuriin yritys-jätteihin, mutta vaikutusmahdollisuudet vaihtelevat paljon myös ryhmittymän sisällä. (Hillary 2004) Oleellista pk-yrityksille on saada käyttöön helppokäyttöisiä työkaluja, joissa tiedonkeruuseen vaadittava aika on saatu minimoitua (Baumann et al. 2012). Resurssien ja osaamisen puute ovat pk-yritysten yleisimmät ongelmat liittyen ympäristötyökalujen käyttöön, mutta motivaatiotekijöillä ja yhteisön, esimerkiksi erillisen organisaation tai akateemisen tutkimuksen, tarjoamalla tuella on suuri myönteinen vaikutus ongelmien ratkaisemisessa (Jansen & Vercalsteren 2001).

Ympäristömyönteisyys ja toiminnan arviointi ympäristön kuormituksen kannalta on osa kestävä kehityksen tavoitetta. Ympäristövaikutusten huomioiminen ja siihen liittyvä

lainsäädäntö on kehittynyt vuosien aikana lähtien liikkeelle 1990-luvulta, jolloin ympäristötietoisuuden aate alkoi levitä. Vaikka tutkimusta niin akateemisella tasolla kuin organisatorisella tasolla on tehty verrattain paljon, konkreettisten ohjeiden ja yleisen yhteisymmärryksen puuttuessa pk-yritykset ovat kohdanneet vaikeuksia integroida ympäristötyökalujen käyttämistä osaksi liiketoimintaansa (Schischke et al. 2006).

EU:n tasolla pk-yritysten ongelmat on tunnistettu ja keinoja heidän auttamisekseen on alettu kehitellä monenlaisten hankkeiden muodossa. Kuitenkin ratkaisumallit ovat osittain vielä tutkimustasolla, eikä pk-yritysten tarvitsemaa käytännön tukea ole laajasti saatavilla. Pk-yritykset tarvitsevat ympäristöjohtamisen tueksi käytännöllisiä ja riittävän yksinkertaisia mutta samalla kattavia työkaluja, jotka mahdollistavat ympäristövaikutusten analysoimisen (Nissen et al. 1997). Ympäristötietoisuus on levinnyt ja leviää edelleen markkinakentässä. Nykyään myös kuluttajat ovat ympäristötietoisia ja vaativat yrityksiä kiinnittämään huomiota ympäristönäkökulmiin. Tämä ulkopuolelta tuleva paine kasvattaa painetta myös metodien ja työkalujen kehittämiseksi, jotta tuottajat pystyisivät paremmin arvioimaan tuotannon, kuljetuksen ja tuotteiden hävittämiseen liittyvät ympäristökuormat. (Camp & Khalifa 2011)

### **1.2.1 Tutkielman pääongelman esittely ja tutkimuskysymykset**

Elektroniikkateollisuuden tuotteiden elinkaarenhallintaan ja elinkaariarviointiin liittyvät ongelmat on jo kauan sitten tunnistettu. Samalla on tiedostettu tuotteissa oleva ympäristöpotentiaali, mutta systemaattisia keinoja tai ympäristöjohtamisen käytäntöjä ei ole vielä onnistuttu muodostamaan. (Mueller et al. 2004) Ongelmat on tiedostettu yleisesti koko toimialalla, joten on erityisen mielenkiintoista tarkastella miten pienet ja keskisuuret elektroniikka-alan yritykset ovat onnistuneet integroimaan ympäristöjohtamisen käytäntöjä toimintaansa. Pk-yritykset ovat Euroopan tasolla avainasemassa ympäristöalan vähentämisessä, sillä niitä on suhteessa paljon verrattuna isoihin toimijoihin. Tästä syystä onkin oleellista keskittyä parantamaan pk-yritysten mahdollisuuksia vaikuttaa toimintansa ympäristökuormituksen määrään. Vihreä aate on levinnyt elektroniikka-valmistajien keskuudessa, mutta sen toimeenpanosta ja hyödyllisyydestä liiketoiminnalle on ollut epäselvyyttä - ekologiset tuotteet eivät ole saavuttaneet erityistä kiinnostusta tai prioriteettia muihin tuotteisiin verrattuna (Ying et al. 2005). Tästä syystä on mielenkiintoista tutkia resurssikriittisten pk-yritysten motivaatiotekijöitä ympäristöystävälliseen tuotantoon ja tuotekehitykseen liittyen.

Tutkielman päätavoitteeksi on asetettu selvittää, millä tavoin ekodesign ja tuotteiden elinkaaren ympäristöhallinta toteutetaan tällä hetkellä elektroniikkateollisuuden pienissä ja keskisuurissa yrityksissä aiheesta julkaistujen julkaisujen valossa. Toisin sanoen, tutkielmassa kartoitetaan elektroniikkateollisuuden pk-yritysten mahdollisuuksia ja haasteita toteuttaa ympäristöjohtamista yrityksen koon ja tietotaidon asettamien resurssihaasteiden valossa. Pääongelman ytimessä on elinkaarityökalun hyödyntäminen ympä-

ristövaikutusten kartoittamisen välineenä. Diplomityön ylemmän tason kysymys ja pääongelma onkin määritelty seuraavasti:

*”Miten eko-design ja elinkaariajattelu huomioidaan ja otetaan käyttöön elektroniikkateollisuuden pk-yrityksessä?”*

Tutkimusongelmaa lähestytään alemman tason apukysymysten avulla. Apukysymykset pilkkovat ylätason tutkimusongelmaa pienemmiksi, helpommin lähestyttäviksi kokonaisuuksiksi. Apukysymykset siis jaottelevat aihetta ja tarkentavat tutkimusongelman eri ulottuvuuksia, jotta ylemmän tason kysymykseen on mahdollista tuottaa mahdollisimman moniulotteinen vastaus. Kyseisen diplomityön apukysymysten avulla pyritään avaamaan elektroniikkateollisuuden pk-yritysten ympäristövastuun eri näkökulmia ja yrityksen toimintaympäristön eli ulkoisen markkinaympäristön asettamia haasteita. Apukysymyksiksi asetettiin seuraavat kysymykset:

1. *Mitkä tekijät vaikuttavat pk-yrityksen ympäristöjohtamiseen ja elinkaarenhallintaan?*
2. *Mitkä ovat suurimmat ongelmat liittyen elinkaariajattelun kehittämiseen pk-yrityksissä?*
3. *Millaisia tarpeita pk-yrityksillä on elinkaariarviointiin kehitettyjen työkalujen ominaisuuksiin liittyen?*

Tutkimus diplomityön tutkimusongelman aihepiiristä on melko hajallaan eikä yhdenmukaista linjaa ole helposti löydettävissä. Jotta tutkielma säilyttäisi järkevän kokonaisuuden, on aihetta rajattu siten, että vain oleelliset teemat on otettu mukaan tutkielman laajuuteen. Tutkielma rajoittuu lähinnä analysoimaan sitä, millaisia haasteita ja mahdollisuuksia pk-yritykset kohtaavat niin ulkoiselta mutta myös sisäisen suorituskyvyn kannalta ympäristöjohtamisen osa-alueella. Tutkielmassa ei mennä yksityiskohtiin elinkaarianalyysin suorittamisesta tai oteta kantaa siihen millaisia tuotteita elektroniikkateollisuuden pk-yritykset tyypillisesti tuottavat. Niiden tarkempi esittely ei tuo oleellista lisäarvoa tutkielman lopputuloksiin. Diplomityön tärkeimpänä tavoitteena on ymmärtää pk-yritysten toimintaympäristöä ja sitä, millaista apua pk-yritykset tarvitsevat, jotta pystyisivät kehittämään liiketoimintaansa ympäristöä vähemmän kuormittavaan suuntaan.

### **1.3 Kirjallisuustutkielmassa käytetyt menetelmät**

Diplomityö on toteutettu perinteisenä kirjallisuustutkielmana. Tutkielman aineisto on kerätty hyödyntäen elektroniikka-alan julkaisuja sisältäviä akateemisia tietokantoja, jotka ovat IEEE.org, Scopus ja Elsevier. Tietokannoissa haut suoritettiin ennalta määritetyin sanayhdistelmin ja löydetty artikkelit jaettiin kolmeen eri kategoriaan: 1) eko-design yleisellä tasolla, 2) ekodesign ja elektroniikka sekä 3) ekodesign, elektroniikka ja pk-yritykset. Kirjallisuustutkielman analyysivaihe, yhteenveto ja johtopäätökset on laa-

dittu kategorioihin 2 ja 3 kuuluvien artikkelien pohjalta luvussa 1.2 esitetyn tutkimusongelman mukaisesti. Tietokantahauissa käytettyjen hakusanojen tarkempi erittely löytyy Liitteestä 1.

Diplomityön aihepiiriä tukevia ja täydentäviä artikkeleita on kerätty hyödyntäen edellisessä kappaleessa mainittuja tietokantoja, mutta myös Google Scholar -tietokantaa sekä aihepiiriin oppikirjoja ja Teknologiateollisuuden julkaisuja. Näiden lisäksi olennaiset lait ja standardit on haettu EU:n sivustoilta. Tutkimuskohteen tarkan rajauksen, toimialan nykytutkimuksen kapeuden sekä ydinartikkeleiden määrän suppeuden vuoksi tutkielman aiheistoa on täydennetty toimialariippumattomilla artikkeleilla. Nämä täydentävät artikkelit käsittelevät myös tutkimusongelman ydintä eli pk-yritysten kohtaamia haasteita liittyen ympäristöasioiden johtamiseen ja toiminnan ympäristövaikutusten kartoitukseen.

## 1.4 Työn jäsentelyn esittely

Työ etenee tutkimuskohteen taustalla vaikuttavien teorioiden, standardien ja lainsäädännön esittelyllä, jonka jälkeen toimialan sisällä tutkimusongelman aihepiiriä ja historiaa käydään oleellisissa puitteissa läpi. Työn virallisessa analyysivaiheessa keskitytään tarkastelemaan ydinartikkelien käsittelemiä aiheita eri näkökulmista laajemman perspektiivin saavuttamiseksi.

Luvussa 2 esitellään ekodesign-konseptin taustaa ja kehittymistä kestävä kehityksen kokonaisuudeksi. Yhdennetyn tuotepolitiikan ohella esitellään keskeisimmät ympäristödirektiivit, joissa annetut vaatimukset ohjaavat elektroniikkateollisuuden tuotteita ja tuotekehitystä. Luvussa kootaan yhteen oleelliset ajurit ja tekijät, jotka ovat vaikuttaneet ympäristöjohtamisen kehittymiseen teollisuudessa ja ympäristötietoisuuden leviämiseen myös asiakaskentässä. Luvun lopuksi käsitellään vielä yleisellä tasolla elektroniikkateollisuuden ympäristöjohtamisen tärkeimpiä osa-alueita.

Luvussa 3 käydään läpi elinkaariajattelun teoriaa. Luvussa esitellään aluksi yleisellä tasolla elinkaarianalyysin vaiheet, jonka jälkeen analyysiä käsitellään tarkemmin elektroniikkatuotteiden näkökulmasta. Lisäksi, näiden aiheiden ohella, luvussa analysoidaan elinkaariarvioinnin soveltuvuutta päätöksenteon välineeksi ja arvioidaan analyysiin liittyviä epävarmuustekijöitä sekä yleisten mallien hyödyntämistä tiedonkeruussa.

Luvussa 4 keskitytään tarkastelemaan sitä, millä tasolla elektroniikkateollisuuden pk-yritykset harjoittavat ympäristöjohtamista toiminnassaan. Akateemiseen tutkimusaineistoon perustuen esitellään yleisellä tasolla pk-yritysten nykytila, haasteet ja mahdollisuudet ekodesignin kannalta. Lisäksi arvioidaan pk-yritysten asemaa ja vaikutusmahdollisuuksia globaalissa markkinakentässä, jota hallitsevat monimutkaiset toimitusketjut ja yritysverkostot.

Luku 5 kokoaa yhteen akateemisen kirjallisuustutkielman artikkelien ja aihetta tukevien lähteiden toistuvat teemat. Lähdemateriaalin analyysissä mallinnetaan nykytutkimuksen pääsuuntia kahden eri viitekehyksen avulla. Ensimmäisen viitekehyksen avulla tarkastellaan tutkimuksen teoreettista tasoa suhteutettuna siihen, että käsitteleekö artikkeli pk-yritysten ympäristöjohtamista vain yleisellä tasolla, vai onko tutkimus keskittynyt elinkaarityökalun kehittämiseen. Toisen viitekehyksen avulla pyritään analysoimaan tutkimusaineistossa esiintyviä esteitä, joita pk-yritykset ympäristöjohtamisen saralla kohtaavat. Näitä esteitä verrataan artikkeleissa mainittuihin LCA-työkalun tärkeimpiin ominaisuuksiin ja analysoidaan sitä, miten hyvin nämä ominaisuudet ratkaisevat pk-yritysten tyypillisimmät ongelmat elinkaarenhallinnassa.

Luvussa 6 vastataan johdannossa esitettyihin apukysymyksiin tutkimusongelman näkökulmasta ja annetaan vastausten perusteella johtopäätökset. Lisäksi analysoidaan tutkimustuloksen rajoitteita ja tuloksen luotettavuutta näiden rajoitusten valossa. Luvun lopuksi annetaan ehdotukset tulevaisuuden tutkimusta varten.

## 2. ELEKTRONIikkATEOLLISUUS JA EKO-DESIGN

Ekodesign tarkoittaa systemaattista lähestymistapaa, jossa ympäristönäkökohdat otetaan huomioon tuotteiden kehitystyössä ja valmistusvaiheessa (Tukker et al. 2001). Toisen määritelmän mukaan ekodesign, johon viitataan myös termillä DfE (engl. *Design for Environment*), on konsepti, jossa sosiaalisen yhteisövastuun ja kestävän kehityksen suuntaviivat yhdistyvät liiketoiminnallisten näkökulmien kanssa (Karlsson & Luttrupp 2006). Perusajatuksena on ympäristön kannalta vastuullinen liiketoiminta – kestävä kehitys on nykytarpeiden tyydyttämistä vaarantamatta samaa mahdollisuutta tulevaisuuden yhteiskunnalta. Ekodesignin päätavoitteena on siis luonnon tarvelemisen ja saastuttamisen vähentäminen ja minimointi. Määritelmään kuuluu toisaalta myös vastuullisten keinojen ja toimintatapojen etsiminen, jotta luonnonvaroja olisi mahdollista hyödyntää kestäväällä tavalla, ja vaarantamatta luonnon tasapainoa. (Hauschild et al. 2004)

Tässä luvussa määritellään siis tarkemmin mitä tarkoittaa englanninkielinen termi *eco-design* – mitä se sisältää ja millaisia vaatimuksia siihen liittyy. Selkeän kokonaisuuden kannalta esitellään myös tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka ja esitellään elektroniikkateollisuuden kannalta tärkeimmät ympäristödirektiivit ja -asetukset. Lisäksi tarkastellaan ympäristömyönteisyyden kehittymistä elektroniikkateollisuuden näkökulmasta sekä toimialan sisäisiä ekodesignin painopisteitä.

### 2.1 Ekodesign - määritelmä

Jaettaessa termi *ecodesign* erillisiksi sanoiksi *eco* ja *design*, voidaan sen alkuperää tarkastella syvällisemmin. Termin alkua *”eco”* viittaa sekä ympäristöllisiin asioihin eli englannin kielen sanaan *ecology*, mutta samalla myös kaupalliseen näkökulmaan eli sanaan *economics*. Kun nämä molemmat merkitykset yhdistetään sanan *”design”* kanssa, voidaan käsitteen merkitys nähdä seuraavasti: Ekodesign on muotoilua, joka yhdistää ympäristölliset näkökulmat kestävän kehityksen kannalta taloudelliseen kannattavuuteen. (Karlsson & Luttrupp 2006, p.1292)

Yksinkertaisimmillaan käsite ekodesign määritellään toiminnaksi, jossa ympäristönäkökohtien huomiointi yhdistetään osaksi tuotekehitystyötä. Käytännössä se on insinöörityötä, jossa olemassa olevaa ympäristötietoutta hyödyntäen luodaan innovatiivisia uusia keksintöjä tai tapoja tehdä asioita ympäristöä vähemmän kuluttavalla tavalla. Karlsson & Luttrupp (2006) korostavat, että kestäväällä kehityksellä ja laatujohtamisella on hyvinkin yhtäläinen lähtökohta: molemmat näkökulmat nostavat esille jatkuvan paranta-



misen tärkeyden. Lisäksi artikkelissa nostetaan oleelliseksi ymmärrys siitä, millaisia vaikutuksia nykyhetken toimintamalleilla on tulevaisuudessa. Pidemmällä tähtäimellä ainoastaan nykyhetken vaatimuksiin tähtäävä toiminta ei ole kestävä eikä taloudellisesti kannattavaa. Tulevaisuuden muuttuviin vaatimuksiin ennakoitavasti valmistautuva toiminta on monesta näkökulmasta kannattavampaa: ennakointi ja tiukempia sääntöjä noudattava yritys voi vastuullisella toiminnalla saavuttaa kilpailuetua verrattuna markkinoilla oleviin muihin toimijoihin. Lisäksi suurempia harppauksia tuotekehityksessä tekevät yritykset selkeyttävät tuotekehitystään verrattuna niihin toimijoihin, jotka reagoivat tiukkeneviin vaatimuksiin vain pienin parannuksin kerrallaan.

Tukker et al. (2001) korostavat artikkelissaan, että ainoastaan prosessiparannuksiin keskittyvä ympäristömyönteinen toiminta ei yksin riitä ekotehokkuuden lisäämisekeinoiksi. On siis keskityttävä kehittämään strategioita, joiden avulla voidaan keksiä kokonaan uusia vihreitä tuoteinnovaatioita. Artikkelissa tuoteinnovaatiot on luokiteltu tavoitteiden aikajänteen mukaan. Lyhyen tähtäimen tavoitteet keskittyvät olemassa olevan tuotteen ominaisuuksien optimointiin ja paranteluun kun taas pitkän tähtäimen tavoitteita ovat tuotteiden uudelleen suunnittelu laajemmalla mittakaavalla tai hieman pidemmälle vietyä saman tuoteominaisuuden toteuttaminen käyttäen täysin erilaista lähestymistapaa ja teknologiaa. Jälkimmäisenä mainitun, eli edistyneemmän tuoteinnovaation kehittämiseen suuntaavaan toimintaan viitataan lähteissä myös nimellä ekoinnovaatio (Schischke et al. 2006, p.235).

## 2.2 Tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka ja muu lainsäädäntö

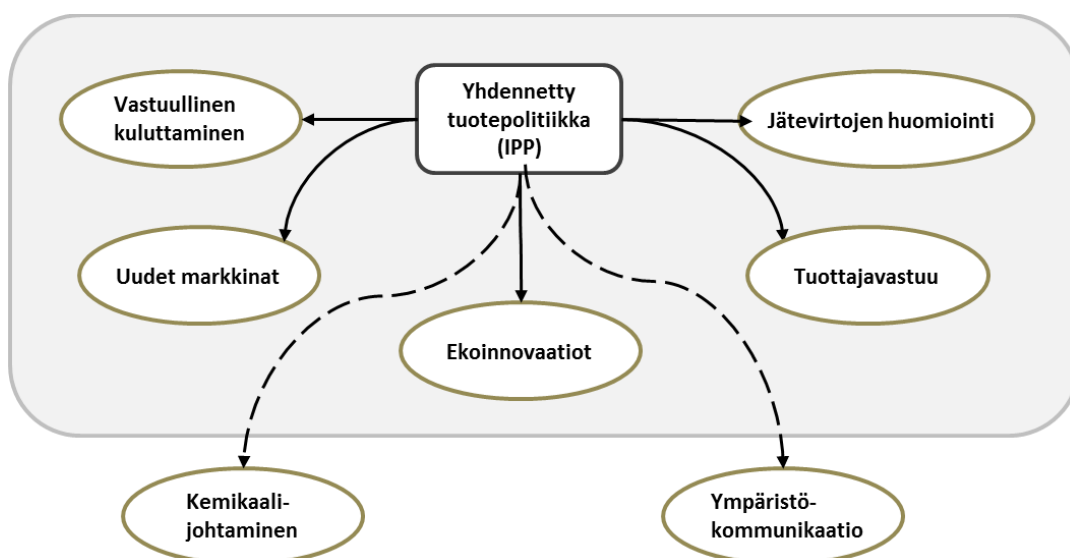
Tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka, toiselta nimeltään yhdennetty tuotepolitiikka (engl. *Integrated Product Policy, IPP*), on osa Euroopan unionin ympäristöohjelmaa, jonka tarkoituksena on huomioida kasvavan kuluttamisen ja lyhentyneiden tuote-elinkaarien aiheuttamaa ympäristötaakkaa tarkentamalla ja tiukentamalla ympäristöön liittyvää ohjeistusta ja lainsäädäntöä (Charter et al. 2001). Keskeisenä pyrkimyksenä on resurssitehokkuuden lisääminen ja vaikuttaminen syntyvän jätteen määrään, laatuun sekä kierrätettävyyteen (Kärnä & Malmström 2001, p.149). Lisäksi pyrkimyksenä on huomioida tuotteen tai palvelun molemmat vaikuttajat eli kysyntä kuluttajapuolelta sekä tarjonta tuotekehityspuolelta. Yhdennetty tuotepolitiikka pyrkii siis erilaisia työkaluja tarjoamalla tukemaan ja ohjeistamaan molempia osapuolia ympäristötoiminnoissa. (Rubik & Scholl 2002) Tuotekehityspuolella nämä työkalut liittyvät pääosin tuotekehitystä tukeviin menetelmiin esimerkiksi keinoihin arvioida oman toiminnan ekotehokkuutta ja toiminnasta aiheutuvaa ympäristötaakkaa. Kuluttajapuolella toiminnot liittyvät enemmän tietoisuuden lisäämiseen ja vihreän aatteen levittämiseen esimerkiksi erilaisten tuotemerkintöjen ja sertifikaattien avulla. (Charter et al. 2001, p.98)

Yhdennetty tuotepolitiikka rakentuu kolmen periaatteen varaan: markkinalähtöinen toiminta-ajatus, sidosryhmäkeskeisyys sekä elinkaariajattelun korostaminen. Näiden periaatteiden pohjalta on koostettu viisi pääelementtiä, jotka Kuva 2.1 havainnollistaa: 1)

vastuullinen kuluttaminen, 2) uudet markkinat, 3) ekoinnovaatiot, 4) jätevirtojen huomiointi sekä 5) tuottajavastuu. Tuotepolitiikan kentän laajentuessa kuvan elementteihin on otettu lisäksi kemikaaliturvallisuus ja ympäristökommunikaatio. Yhdennetty tuotepolitiikka on laaja ympäristöjohtamisen ohjelma: tuotelähtöisen ympäristöpolitiikan voidaan ajatella olevan yläkäsite, joka kokoaa yhteen eri osa-alueiden tarkemmat määrittelyt ja ohjeistukset. (Charter et al. 2001, pp.103–104)

Euroopan jäsenmaissa toimivien sähkö- ja elektroniikkatuotteiden valmistajia koskevat ohjeistukset ovat: EuP-puitedirektiivi, WEEE- ja RoHS – direktiivit sekä REACH-kemikaaliasetus. EuP on ylemmän tason direktiivi, jota täydentävät yksityiskohtaisemmat direktiivit kierrätyksestä ja ainerajoituksista (Schischke et al. 2006). Se millä tasolla ja kuinka tiukkaa lainsäädäntöä kukin jäsenvaltio noudattaa riippuu direktiivin luonteesta: direktiivit ovat joko minimidirektiivejä tai harmonisoituja direktiivejä. Lainsäädännön on tarkoitus tukea koko elinkaarenaikaisen ympäristötaakan hallintaa kohdistamalla eri direktiivit tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin (Orgelet et al. 2012).

Yhdennetyn tuotepolitiikan konsepti EU-tasolla on vielä kehitysasteella. Schischke et al. (2012) kuvaavat ympäristölainsäädännön kehittymistä polkuna, joka lähti liikkeelle ympäristötietoisuuden levittämisestä ja keskittyy nykyään lähinnä rajoittamaan tiettyjä tuotannossa ja tuotteissa käytettäviä materiaaleja eriasteisin ainekielloin. Rubik & Scholl (2002) korostavat erityisesti, että on tärkeää yhtenäistää vaatimustasoa eri maiden välillä. Keskeisenä tavoitteen on siis pyrkimys standardisoida lainsäädäntöä ja sitä kautta tarjota konkreettisia keinoja mitata toiminnan ympäristötehokkuutta lainsäädännön asettamien vaatimusten valossa (Valkama & Keskinen 2008).



**Kuva 2.1** Yhdennetyn tuotepolitiikan osa-alueet (mukaillen Charter et al. 2001, p.104).

Lainsäädäntöä on pyritty rakentamaan systemaattisempaan suuntaan ja kehityksestä on tunnistettavissa kaksi selkeää painopistettä. Tärkeässä roolissa on ollut vaarallisten ai-

neiden kattavampi luettelointi sekä listaus liittyen ainerajoituksiin ja ainekieltoihin. Toinen kehitystrendi on ollut kehittää energiankulutukseen liittyviä vaatimuksia. Euroopan Unionin lainsäädäntö on kohdistunut säättämään valmistavan teollisuuden tuotantoa sekä tuotesuunnitteluun liittyviä vaatimuksia. Lisäksi myös toimittajiin kohdistuva sääntely on lisääntynyt. Tiukennuksia on tehty liittyen tuotteiden elinkaaren loppupuolen prosesseihin eli tuotteiden keräämiseen, kierrättämiseen ja hävittämiseen liittyviin toimintoihin. (Ellinghaus 2012)

### 2.2.1 EuP-puitedirektiivi

EuP-direktiivi (engl. *Ecodesign Requirements for Energy using Products*) sisältää vaatimuksia energiaa käyttävien laitteiden tuotesuunnitteluun liittyen. Sen tavoitteena on sisällyttää ekologinen ajattelu energiankäyttöön ja edistää tuotteiden energiankulutuksen tehostamistoimia. (2005/32/EC) EuP-direktiivi on ensimmäinen osa yhdenmukaista tuotepolitiikkaa, ja se sisältää suoraan tuotekohtaisia vaatimuksia. Direktiivin piiriin kuuluu ekologisen profiilin määrittäminen, jonka avulla voidaan todentaa tuotteen yhteneväisyys direktiivin vaatimuksiin. Yhteneväisyyden todistamiseen tulee yrityksellä olla käytössä dokumentoitu ympäristöjohtamisjärjestelmä EMS (*Environmental Management System*), ISO-14000 standardi tai joku muu ympäristöjohtamisen muoto, jonka sisältö on yhteensopiva direktiivin sisältämän EuP Annex IV:n kanssa. (Schischke et al. 2006)

Harmonisoituna direktiivinäkin kutsuttu EuP-direktiivi on kaikissa Euroopan maissa samalla tasolla, vaikka lainsäädännölliset yksityiskohdat maissa vaihtelisivat. Direktiivin sisältö ja täytäntöönpano on siten kaikissa Euroopan jäsenvaltioissa yhtenäinen. (Peltonen et al. 2007, p.47) Energia ja energiankulutus nähdään myös teollisuudessa suurimmaksi ja näkyvämmäksi ongelmaksi ympäristön kannalta: energiansääntelyyn tulee tästä syystä kiinnittää kasvavassa määrin huomiota (Schischke et al. 2012).

### 2.2.2 WEEE-direktiivi

WEEE (engl. *Waste Electrical and Electronic Equipment*) on tuottajavastuuta korostava, jätehuoltoa ja laitteiden oikeaoppista käytöstä poistamista käsittelevä direktiivi, ja se on säädetty sähkö- ja elektroniikkatuotteiden valmistajille. Tuottajavastuu tarkoittaa sitä, että valmistaja on velvollinen huolehtimaan tuotteiden loppukäsittelystä niiden elinkaaren loppuvaiheessa. Tuottaja voi joko itse vastata laitteiden keräämisestä tai liittää osaksi keräysverkostoa, johon kuuluu myös muita toimijoita (Besiou et al. 2012).

Elektroniikkaromu on kriittistä jätettä verrattuna muihin jätevirtoihin, sillä laitteissa käytettyjen materiaalien kirjo on moninainen. Materiaalien valmistuksessa on saatettu käyttää myrkyllisiä aineita, joiden päätyminen luontoon ilman oikeanlaista jatkokäsittelyä on suuri ongelma. Oikeanlaisen kierrättämisprosessin takaamiseksi WEEE-direktiivi asettaa laitteen valmistajan suoraan tuotevastuuseen, ja siten tämän tehtävänä on huolehtia laitteidensa loppukäsittelystä ja hävittämisestä. Vastuun kohdentamisen tarkoituk-

sena on myös edesauttaa elektroniikkalaitteissa käytettyjen luonnonvarojen, kuten metallien, talteenottoa niiltä osin kuin ne ovat laitteen kokoonpanosta eroteltavissa. (Ellinghaus 2012)

WEEE on minimidirektiivi ja se astui voimaan vuonna 2005. Minimidirektiivisyys tarkoittaa EU maille säädettyjä minimivaatimuksia, joiden pohjalta jäsenmaat päättävät oman lainsäädäntönsä. Maakohtaiset vaatimukset saattavat poiketa toisistaan ja tämä aiheuttaa haastetta kansainvälisille toimijoille, joiden on kansainvälisen liiketoiminnan onnistumisen vuoksi oltava perillä kunkin maan lainsäädännöstä. (Peltonen et al. 2007, p.46) Minimidirektiivisyys on saanut myös kritiikkiä siitä, että sen täytäntöönpano tuo liikaa vaihtelevuutta jäsenmaiden välillä. Yhtenevämpi linja direktiivin toteutukseen toisi selkeyttä maiden välisessä yhteistyössä (Besiou et al. 2012).

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi päivitetty WEEE-direktiivi estää osaltaan elektroniikkaromun päätymistä halvemman hintatason maihin, joissa romun oikeanlaisesta käsittelystä ja kierrätyksestä ei ole varmuutta. EU onkin direktiivillä kiristänyt laitteiden toimittamista jäsenmaiden ulkopuolelle. Tämän tarkoitus on estää jätevirtojen leviämistä ja edistää laitteiden ympäristöystävällistä käsittelyä elinkaaren loppuvaiheessa. (Ellinghaus 2012)

### 2.2.3 RoHS- direktiivi

RoHS (engl. *Restriction of Hazardous Substances*) eli aineita ja niiden pitoisuuksia säätelevä direktiivi on astunut voimaan vuonna 2006 ja sen uusi versio on päivitetty vuonna 2011. Direktiivi asettaa rajoituksia sähkö- ja elektroniikkalaitteissa käytettäville materiaaleille, joita ovat: lyijy, elohopea, kuuden arvoinen kromi, polypromibifenyyli (PBB) ja polypromidifenyylietteri (PBDE) eli palonestoaineet sekä kadmium. (2011/65/EU) Palonestoaineille ja kadmiumille on olemassa painoprosentillinen määrittäminen, mutta käytännössä nekin ovat RoHS:n mukaan täyskielossa. (Peltonen et al. 2007, pp.9–10)

RoHS ei ole itsessään lainsäädännöllinen artikla vaan se sisältää ohjeet, joita jäsenmaiden tulee noudattaa omaa lainsäädäntöään määrittäessään. Myös RoHS on harmonisoitu direktiivi, eli sen sisältö ja täytäntöönpano ovat kaikissa Euroopan jäsenvaltioissa yhtenevät. Lisäksi kyseistä direktiiviä kehitetään jatkuvasti. Tuottajien kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tulevista ainerajoituksista tulee olla perillä, jotta muuttuviin ainesäädöksiin on mahdollista reagoida ajoissa. (Peltonen et al. 2007)

RoHS:n vaatimuksiin kuuluu RoHS -yhteensopivuuden osoittaminen CE-merkinnällä (ransk. *Conformité Européenne*). Merkinnän saamiseksi valmistajan on toimitettava vaaditut dokumentit, jotka todistavat vaatimusten täyttymisen ja siten RoHS-yhteensopivuuden. (Deubzer et al. 2012) Pelkkä RoHS-yhteensopivuus ei yksinään riitä

merkinnän myöntämiseen, mutta merkinnän saaneet tuotteet voidaan tulkita RoHS-yhteensopiviksi. (Tukes 2015)

## 2.2.4 REACH-kemikaaliasetus

REACH-asetus N:o 1907/2006 (engl. *Restriction, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*) on asetettu Euroopan parlamentin ja neuvoston toimesta. Sen tavoitteena on säädellä teollisuudessa käytettyjä kemikaaleja, jotka ovat vaaraksi ihmisen terveydelle tai ympäristölle. Asetus koostuu kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoittamisesta. Järjestelmän ylläpitoa ja valvontatehtäviä varten on perustettu erillinen Euroopan kemikaalivirasto. (Tukes 2016b)

Asetus pyrkii säätelemään tai jopa kieltämään tuotteissa ja tuotannossa käytettyjä kemikaaleja ja asettamaan vaihteittain rajoitusten alle yhä enemmän erilaisia kemikaaleja. Euroopan kemikaalivirasto ylläpitää niin kutsuttua kandidaattilistaa huolta aiheuttavista aineista, joiden arvellaan olevan ympäristölle haitallisia, mutta joiden vaikutuksia ei ole vielä todennettu. (2006/1907/EY) Asetuksen piiriin kuuluu kahdenlaista säätelyä: tiettyjä kemikaaleja sisältäviä tuotteita ei saa tuoda lainkaan EU:n markkinoille tai kemikaaleja ei saa käyttää rajoituksissa mainittujen tuoteryhmien tuotteiden valmistamiseen. Kielletyt kemikaalit on luoteltu asetuksen liitteessä XIV ja osittain kiellettyjen kemikaalien listaus on löydettävissä asetuksen liitteestä XVII. (Ellinghaus 2012)

Tärkeä liitännäinen REACH-asetuksen rinnalle tehtiin CLP-asetuksessa N:o 1272/2008 (engl. *Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures*). Tämä lisäasetus asettaa säädöksiä vaarallisten aineiden luokittelulle, oikeanlaiselle merkitsemiselle ja asianmukaiselle pakkaamiselle. Lisäyksen pohjalta myös alkuperäistä kemikaaliasetusta on myöhemmin muokattu. REACH- ja CLP-asetusten ydinideana on rajoittaa vaarallisten aineiden käyttöä, parantaa kemikaalien käsittelyä ja lisätä velvoitteita kemikaalitietoisuuden lisäämiseksi teollisuudessa. (Tukes 2016a) EU:n pitkän tähtäimen tavoitteena mainitaan rajoitusmenettelyn laajentaminen kattamaan mahdollisimman laajalla skaalalla ympäristölle vaaralliseksi luokiteltuja kemikaaleja ja saattamaan niiden käyttäminen luvanvaraiseksi (Tukes 2015).

## 2.3 Ekodesignprosessin kehittyminen elektroniikkateollisuudessa

Ympäristötietoisuus ja kiinnostus kestäviin tuotteisiin ei ole uusi ilmiö. Jo 1990-luvun alkupuolella oltiin tietoisia siitä, että elektroniikkavalmistajien kulutustuotteilla on suuri merkitys kestävä kehityksen kannalta. Merkitys on suuri etenkin kierrossa olevien materiaalien määrään ja laatuun: kulutustuotteiden ja teknologian nopea kehittyminen tarkoittaa samalla suurta määrää käytöstä poistuvia tuotteita. Ekologisuuden painopiste on muuttunut ajan myötä, mutta se lähti liikkeelle kolmesta peruserästä: 1) vähennä,

2) käytä uudelleen ja 3) kierrätä (engl. *reduce, reuse, recycle*) (Holt 1994). Ekodesign-prosessi koostui suunnittelu- ja tuotantovaiheesta ja edelleen pakkaamisesta sekä kuljetuksesta päättyen tuotteiden hävittämiseen. Ekologisuus nähtiin ulkopuolisina keinoina parantaa nykyistä toimintaa ja tuotantoprosessin vaiheita, eikä osattu keskittyä tuotteen ominaisuuksien muuttamiseen tai uusiin ekoinnovaatioihin. (Rhodes 1993; Holt 1994; Ellinghaus 2012) Ympäristöystävällisempien tuotteiden nähtiin olevan kalliita ja niiden kehittämiseen arvioitiin kuluvan suhteessa enemmän aikaa (Holt 1994).

Myöhemmin mukaan tulivat tuotekohtaiset seikat, joiden uudelleensuunnittelulla tai parantamisella nähtiin olevan vaikutusta tuotteen ympäristötaakan pienentämisessä. Näin ekodesignin painopiste alkoi vähitellen siirtyä prosessilähtöisestä ajatusmallista tuoteominaisuuksien parantamiseen. Tuotteita alettiin tarkastella myös suhteessa muiden valmistajien vastaaviin tuotteisiin. Vertailun kohteena oli kilpailevien tuotteiden energiankulutus, materiaalivalinnat ja materiaalien tehokas käyttäminen, pakkaaminen ja tuotteen kokoonpano. Lisäksi vertailtiin myrkyllisten aineiden käyttämistä tuotteissa tai niiden tuotantovaiheissa sekä tuotteiden ja materiaalien kierrätettävyyttä. (Ying et al. 2005)

Kiristynyt lainsäädäntö on asettanut omat paineensa kehittää elektroniikkatuotteiden ympäristömyönteisyyttä. Laissa olevat pakotteet vaativat tuottajia tarkastelemaan tuotteitaan ja tuotantoprosessejaan tarkemmin, ja tästä syystä erilaisten tekniikoiden kehittyminen on hiljalleen alkanut. (Warburg et al. 2005, p.226) Tutkimuksia siitä, miten elinkaariarviointia voidaan helposti mutta luotettavasti hyödyntää elektroniikkateollisuuden tuotteissa, on ollut jo pitkään (esimerkiksi Lindahl 1999), mutta tarkemmat esimerkit ovat vasta viimeisimmältä vuosikymmeneltä (esimerkiksi Laurin et al. 2006; Valkama & Keskinen 2008; Orgelet et al. 2012; Andersen et al. 2014). Yhteinen pyrkimys näille tutkimuksille on kuitenkin ollut tuottaa ymmärrettäviä keinoja mitata ja dokumentoida omien prosessien suorituskykyä mahdollisimman helposti.

## 2.4 Ympäristövaikuttamisen tärkeimmät osa-alueet

Elektroniikkatuotteiden ympäristötaakkaan vaikuttaa suurimmaksi osaksi tuotteissa käytetyt materiaalit ja etenkin ihmisille ja luonnolle myrkylliset aineet sekä laitteiden energiankulutus (Ellinghaus 2012; St-Laurent et al. 2012). Keskittyminen ympäristönäkökulmasta on kohdistunut materiaalivalintoihin, mutta käytettyjen materiaalien laadullisten seikkojen lisäksi oleellista on huomioida myös niissä käytettyjen materiaalien määrä (Kärnä 2005). Edellä mainittujen seikkojen lisäksi Schischke et al. (2006, p.233) luettelevat oleellisiksi ympäristövaikuttamisen kohteiksi laitteiden kierrätettävyyssasteen ja laitteiden suhteellisen käyttöiän. Materiaalivalinnat ja energiankulutus kuitenkin nostetaan tärkeimmiksi seikoiksi aihetta käsittelevien artikkeleiden joukossa.

Tuotteissa käytettävien materiaalien suunnittelussa on oleellista tutkia materiaalin kiertoa ja sitä, onko materiaali hyödynnettävissä uudelleen. Ideaalisessa tilanteessa materi-

aalikierto on suljettu ympyrä, jossa tuotteissa käytetyt materiaalit voidaan täydellisesti kerätä ja käyttää uutena raakamateriaalina uusien tuotteiden valmistuksessa. Todellisuudessa kaikkea tuotteissa käytettyä materiaalia ei pystytä palauttamaan takaisin kiertoon ja tällöin oleellista on huolehtia oikeanlaisesta loppukäsittelystä (engl. *end of life treatment*). Erityisen haasteellista tuotteen elinkaaren loppuvaiheessa on elektroniikkalaitteiden jätteiden prosessointi, sillä tuotteet sisältävät mikrorakenteisia osia, joista materiaalien erottelu ja talteen kerääminen on monimutkaista tai jopa mahdotonta. Tämä on ongelmallista etenkin rajallisten luonnonvarojen keräämisessä. (Nissen et al. 1997)

Toinen näkökulma tuotteiden materiaalisäällön hallinnassa on estää laitteissa käytettyjen kemikaalien ja muiden vaarallisten aineiden päätyminen luontoon elinkaaren loppuvaiheessa. Elektroniikkaromun käsittelemättä jättäminen on ympäristöriski ja hallitsemattomasti vapautumaan pääsevät kemikaalit voivat aiheuttaa eliöille suoria terveysvaikutuksia, mutta niillä voi olla myös vielä tuntemattomia epäsuoria vaikutuksia. Tuotteiden sisältämien kemikaalien ohella on tärkeää myös huomioida ne kemikaalit, joita käytetään elektroniikkalaitteiden tuotantoprosessien aikana: myös tuotannossa käytettyjen kemikaalien oikeanlaisesta käsittelystä tulee varmistua. Täten vaarallisten aineiden pääsy ympäristöön estetään myös elinkaaren alkupäässä. (Nissen et al. 1997)

Energiaa kuluttavien laitteiden suurin ympäristötaakka syntyy tyypillisimmin tuotteen käyttövaiheessa, mikä johtuu laitteen vaatiman energian tuottamisesta ja toimittamisesta syntyvistä päästöistä (Rhodes 1993). Energiankulutukseen liittyviä ympäristönäkökulmia on käsitelty lähinnä vain käyttäjän kulutuksen näkökulmasta ja vähemmälle huomiolle on jäänyt itse tuotannon aikainen energiankulutus, jonka oleellisuuden St-Laurent et al. (2012) nostavat artikkelissaan esille. Tuotantovaihe on oleellinen osa tuotteen aiheuttamaa ympäristökuormaa, ja sen huomioiminen saattaa jäädä varjoon, kun keskitytään ajattelemaan tuotetta rajoittuen vain sen fyysiseen olomuotoon.

## 2.5 Ohjelmiston merkityksen korostuminen

Elektroniikkateollisuuden tuotteet eivät nykyään koostu pelkästään vain komponenteista vaan ne sisältävät myös ohjelmistoja. Ohjelma voi esimerkiksi määrittää tai säädellä laitteen energiankulutusta ja valvetilan eli aktiivitilan pituutta. Toisena esimerkkinä voidaan mainita kehittyneempien laitteiden sovellukset, jotka informoivat käyttäjää laitteen energiankulutukseen liittyvissä asioissa. Ohjelmistojen osuutta tuotteiden eliniän pidentämisessä ei voida enää sivuuttaa, vaan ohjelmistokehitys esimerkiksi energiankulutusta tehostavana osana tulee nähdä mahdollisuudeksi kehittää tuotteita energiatehokkaampaan ja kestävämpään suuntaan. Tämä korostuu etenkin sellaisten laitteiden kohdalla, joiden suurin ympäristötaakka syntyy käyttövaiheen aikana. (St-Laurent et al. 2012)

Tutkimuskohteena ohjelmistot ovat mielenkiintoinen aihepiiri, sillä niiden tuomat mahdollisuudet elinkaarenhallinnan kannalta tunnetaan vielä heikosti. Ohjelmiston vaikutus-

ta tuotteen elinikään tai ympäristötaakkaan ei kirjallisuudessa ole tutkittu vielä laajalti. Alan kirjallisuudessa löytyy mainintoja, joissa viitataan ohjelmiston merkitykseen modernien monimutkaisten ja -toiminnallisten laitteiden elinkaareissa, mutta tutkimus elektroniikkalaitteiden näkökulmasta on vielä erittäin suppeaa. Kuitenkin viime vuosien aikana myös tämä aihe on alkanut esiintyä artikkeleissa ja tutkimuksissa. (Judl et al. 2012)

Elektroniikkalaitteissa ohjelmistot osallistavat käyttäjän mukaan laitteen toiminnan säätelyyn: ohjelmiston ja käyttöliittymän avulla käyttäjä voi vaikuttaa laitteensa toimintoihin. Käyttäjällä saattaa olla suurikin merkitys laitteen käyttöiän pituudessa, sillä ohjelmistolla säädellyt toiminnot kuluttavat tuotteen mekaanisia komponentteja. Judl et al. (2012) korostavat artikkelissaan, että monimutkaisten laitteiden yleistymisen vuoksi tutkimusta ohjelmistojen vaikutuksesta laitteiden käyttäjäprofiileihin tulisi ehdottomasti tutkia pidemmälle: ohjelmistot saattavat jopa lisätä käyttövaiheen ympäristövaikutuksia, kun tuotteen toiminnallisuudet monipuolistuvat erilaisten sovellusten avulla. Toisaalta St-Laurent et al. (2012) argumentoivat, että ohjelmiston merkitys esimerkiksi tuotteen energiansäätelyssä on aliarvostettua.

Nykyajan sertifikaatit ovat keskittyneet merkitsemään vain laitteistojen (engl. *hardware*) ominaisuuksia eikä vastaavanlaisia luokitteluja ohjelmistoille ole tarjolla. Ekodesign toiminnot eivät siis kannusta ohjelmistojen kehittämiseen siten, että esimerkiksi ohjelmistojen suunnittelu tukisi laitteiden pidempää käyttöikää. (St-Laurent et al. 2012) St-Laurent et al. (2012) mainitsevat artikkelissaan myös, että elektroniikkatuotteiden valmistus ja niiden ohjelmistojen kehitys eivät kulje käsi kädessä vaan ulkopuoliset ajalliset paineet saattaa tuote markkinoille vähentävät ohjelmiston kehitykseen käytettävää aikaa. Tällöin esimerkiksi energiatehokkuuden parantaminen jää toissijaiseksi ominaisuudeksi.



### 3. ELINKAARIANALYYSI PÄÄTÖKSENTEON VÄLINEENÄ

Kokonaisvaltainen kuva yrityksen toiminnan aiheuttaman ympäristökuorman ulottuvuuksista voidaan saavuttaa kattavalla elinkaariarviolla, jolla otetaan huomioon tuotteen koko elinkaarenaikaiset vaikutukset. Elinkaariarvioinnin tekemiseen kehitetty työkalu eli LCA (engl. *Life Cycle Assessment*) tarjoaa oikein toteutettuna kattavan kuvan tuotteen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Analyysistä saatujen tuloksien avulla voidaan ohjata esimerkiksi tuotesuunnittelussa tehtyjä valintoja siihen suuntaan, että valinnat peilaavat lainsäädännön asettamia vaatimuksia elektroniikkatuotteille ja noudattavat voimassaolevia ainerajoituksia. (Valkama & Keskinen 2008)

Teknologioiden kehittyminen ei ole yksioikoinen prosessi vaan on tyypillistä, että tietyn teknologian kehittyminen vaatii rinnakkaisteknologioiden kehittymistä. Schischke et al. (2012) antavat esimerkin, jossa lasertekniikan kehittyminen on vaatimus sille, että kuituoptiikkaa voidaan soveltaa paremmin telekommunikaatiossa. Jotta ekoinnovaatioita voisi ylipäättään syntyä, on tärkeää ymmärtää poikkitieteelliset vuorovaikutussuhteet ja rinnakkaisteknologiat, joiden on kehityttävä samassa suhteessa tarkasteltavaan teknologiaan verrattuna. Myös Judl et al. (2012) painottavat rinnakkaisteknologioiden kehittymisen tärkeyttä ekoinnovaatioiden synnyssä. Artikkelissa painotetaan rinnakkaisteknologian huomiointia hieman toisesta näkökulmasta: rinnakkaisteknologian vaikutus tulee ottaa huomioon arvioitaessa tuotteen kokonaisympäristövaikutuksia. Esimerkiksi verkkojen aiheuttamaa ympäristövaikutusta ei voida jättää huomiotta käsiteltäessä matkapuhelinten ympäristökuormitusta.

Tässä luvussa avataan elinkaarianalyysin teoreettista taustaa ja määritetään analyysin eri vaiheet sekä tarkennetaan elinkaaren määritelmää. Luvun toisessa osassa käsitellään elinkaariarviointia elektroniikkateollisuuden näkökulmasta ja tarkastellaan eritoten elinkaarityökalun soveltumista päätöksentekoon ekotehokkuuden parantamisessa. Elinkaarianalyysi sisältää paljon epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat analyysin lopputulosten luotettavuuteen. Näiden seikkojen ohella luvussa selvennetään, millaisilla keinoilla on mahdollista keventää elinkaarianalyysin monimutkaista rakennetta ja tuottaa sen avulla aidosti päätöksentekoa tukevaa materiaalia.

#### 3.1 Elinkaarianalyysi, Life Cycle Assessment (LCA)

Elinkaarianalyysi eli LCA on kansainvälisen ISO-organisaation (engl. *the International Organization for Standardization*) standardoima menetelmä, jonka ensimmäinen versio

on vuodelta 1997. Standardia on kehitetty kansainvälisellä tasolla ja menetelmän harmonisointi jatkuu edelleen yhteistyössä eri organisaatioiden ja toimijoiden kanssa. Näistä oleelliset osapuolet ovat IEC (*the International Electrotechnical Commission*), Euroopan Unioni, SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) sekä UNEP (*the United Nations Environment Program*). Yhteistyötä tehdään tiiviisti myös akateemisten tahojen, kuten yliopistojen, kanssa. (Westkämper 2000; Finnveden et al. 2009)

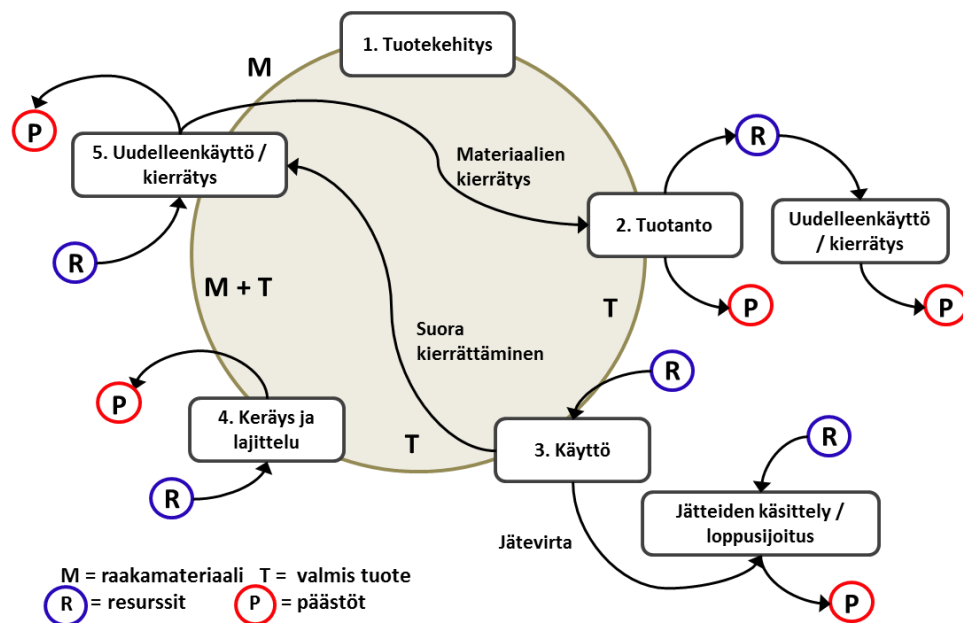
Elinkaarianalyysi on tekniikka, jonka avulla on tarkoitus tarkastella kattavasti analyysin kohteen kokonaisvaltaisia ympäristövaikutuksia. Menetelmän kohde voi olla joko fyysinen tuote tai myös palvelu, mutta tämän tutkielman puitteissa käsitellään elinkaarta vain konkreettisen tuotteen näkökulmasta. Kokonaisvaltaisen tekniikan avulla kartoitetaan input-output dataa ja tämän tarkan tuotetiedon pohjalta voidaan arvioida yrityksen toiminnan ympäristötaakkaa tuotteen koko elinkaaren ajalla. (ISO 14040:1997; Finnveden et al. 2009) LCA-menetelmän peruseräkkeet, viitekehys ja vaatimukset on määritetty standardissa ISO 14040 (engl. *Environmental management – Life cycle Assessment – Principles and Framework*). Tämän standardin rinnalle on kehitetty toinen ISO 14044 (engl. *Environmental management – Life cycle Assessment – Requirements and Guidelines*) standardi, joka tarkoittaa menetelmän ohjeistusta ja vaatimuksia. (ISO 14040:1997)

Elinkaarianalyysillä tarkastellaan ainoastaan tuotteen ympäristövaikutuksia, eikä sen avulla siten voida ottaa kantaa liiketaloudellisiin tai sosiaalisiin näkökulmiin. Standardissa mainitaan myös se, miten tärkeää analyysin käytössä on ymmärtää kyseiseen tekniikkaan liittyvät rajoitukset. Analyysin tulokseen vaikuttavat toteutuksessa tehdyt oletukset, jotka voivat tekijän ammattitaidosta riippuen olla hyvinkin subjektiivisia. LCA:n eri vaiheiden toteutukseen vaikuttavat paljon myös yrityksen maantieteellinen sijainti, datan saatavuus sekä analyysin kokonaisuuden oikeanlainen rajaaminen. (ISO 14040:1997)

### 3.1.1 Tuotteen elinkaari

Analyysissä tarkastellaan tuotteen aiheuttamaa ympäristörasitetta ja tarkastelun kohteena on tuotteen koko elinkaari. Jotta analyysin eri vaiheita voidaan ymmärtää kattavammin, tulee myös tuotteen elinkaari määritellä yksityiskohtaisesti. Elinkaarella viitataan kaikkiin vaiheisiin, jotka tuote käy läpi suunnitteluvaiheen alusta aina hävittämiseen saakka. Nämä vaiheet hieman määrittelystä riippuen ovat 1) raakamateriaalien hankinta ja muokkaaminen, 2) tuotanto ja valmistus, 3) jakelu ja kuljetus 4) käyttövaihe ja 5) käytöstä poisto eli hävittäminen ja kierrätys. Ideaalisessa tilanteessa tämä elinkaari olisi sulkeutunut ympyrä, jossa tuotteen materiaalit voidaan hyödyntää sataprosenttisesti uusien tuotteiden valmistuksessa edellisen tuotteen käytöstä poistamisen jälkeen. Käytännössä tilanne on toinen ja elinkaaren kaikissa vaiheissa syntyy päästöjä ympäristöön. (Westkämper 2000)

Rebitzer et al. (2004, p.702) kuvaavat elinkaarenaikaisia vaiheita ja päästöjä sisäkkäisillä sykleillä, joista jokaisella on osuutensa ympäristön kumulatiivisessa kokonaisvaikutuksessa. Jokainen vaihe kuluttaa resursseja ja synnyttää päästöjä ympäristöön. Kuva 3.1 esittelee tämän syklisen mallin, mutta hieman yksinkertaistetussa muodossa. Analyysin vaihe, jonka aiheuttamat vaikutukset dominoivat, riippuu vahvasti analyysin määrittelystä ja käsiteltävästä kohteesta. Mallinnuksen avulla on selkeästi nähtävissä, että jokainen tuotetta muokkaava vaihe, oli kyseessä itse tuote tai raakamateriaali, kuluttaa resursseja ja tuottaa päästöjä ja siksi elinkaarta ympäristön näkökulmasta tulee käsitellä kokonaisuutena. Lisäksi kuvasta on selkeästi nähtävissä, että tuotteesta aiheutuvat päästöt ovat johdannaisia niistä päätöksistä, joita tuotteen suunnitteluvaiheessa on tehty. Rebitzer et al. (2004) korostavatkin artikkelissaan elinkaaren alkuosan merkityksellisyttä ympäristön huomioinnissa.

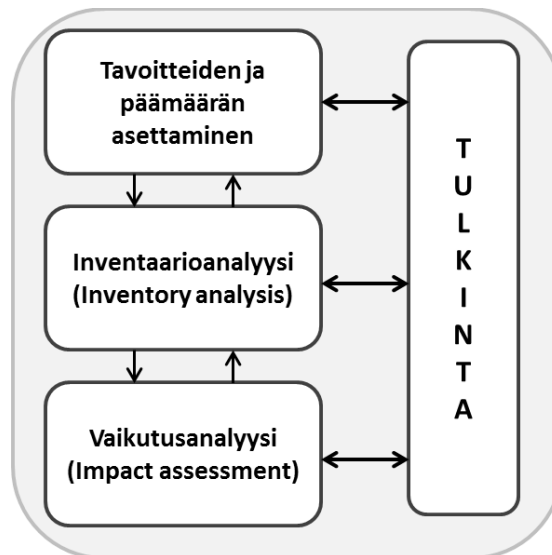


**Kuva 3.1** Elinkaaren aikaisten vaikutusten mallinnus syklisessä muodossa (mukailten Rebitzer et al. 2004).

Tuotteen elinkaaren pituuteen vaikuttaa moni asia. Kulutustuotteilla on tyypillisesti lyhyt elinkaari ja tuotteen elinkaarta hallitsee käyttövaihe. Nopeasti kehittyvien teknologioiden vuoksi tuotteet etenevät keräys- ja lajitteluvaiheeseen jo paljon ennen niiden todellisen käyttöiän loppumista. Kysyntä dominoi siten tuotteen elinkaarta, vaikka fyysiset ominaisuudet riittäisivät pidempäänkin käyttöön. Toinen näkökulma tuotteen elinkaareen on tuotteen laadukkuus, joka määräytyy pääosin tuotteessa käytettyjen materiaalien laadukkuudesta sekä tuotteen monimutkaisuudesta. Voidaan sanoa, että mitä monimutkaisempi tuote on kyseessä, sitä alttiimpi tuote on kulumiselle ja rikkoutumiselle. (Westkämper 2000)

### 3.1.2 Analyysin vaiheet

LCA koostuu kolmesta päävaiheesta, jotka ovat: 1) tavoitteiden ja päämäärien asetus, 2) inventaarioanalyysi eli LCI (engl. *Life Cycle Inventory*) sekä 3) vaikutusanalyysi eli LCIA (engl. *Life Cycle Impact Assessment*). Päävaiheet yhdistää niin sanottu tulkinnallinen osuus, jossa varmennetaan kunkin vaiheen onnistuminen. Kuva 3.2 koostaa analyysin eri vaiheet ja havainnollistaa niiden keskinäisen kytkeytymisen. (ISO 14040:1997) Kuvasta nähdään, että vaiheet eivät ole irrallisia kokonaisuuksia, vaan osioiden välillä on vuorovaikutussuhde: eri vaiheiden keskinäinen linkittyminen tuo menetelmästä esiin standardin mainitseman iteratiivisen luonteen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että puuttuva tuote- tai prosessitieto voi asettaa esteitä analyysin suorittamiselle halutun kokonaisuuden (engl. *scope*) sisällä, jolloin päämääriä ja analyysin rajoja joudutaan miettimään uudelleen. Nämä muutokset pakottavat palaamaan analyysin vaiheissa taaksepäin, jotta tavoitteet saadaan linjattua siten, että uudet rajoitukset on huomioituna. (Westkämper 2000)



**Kuva 3.2** Elinkaarianalyysin eri vaiheiden määrittely ja keskinäinen vuorovaikutus (ISO 14040:1997).

#### *Tavoitteiden ja päämäärien asetus*

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa määritellään analyysin käyttötarkoitus sekä rajat. Tämä tarkoittaa motiivien asettamista ja tarkentamista tasolle, että analyysillä on selkeä tavoite: tavoitteen yksiselitteisyys helpottaa analyysin lopussa tehtävää tulosten tulkitusta ja ylipäätään parantaa analyysin lopputuloksen vastaavuutta alkuperäisiin motiiveihin (Camp & Khalifa 2011). Ilman selkeää tavoitetta ei voida saavuttaa tuloksia, jotka palvelevat tarkoituksensa ja ovat hyödyksi. Määrittelyvaiheessa päätetään tutkimuksen toiminnallinen yksikkö *FU* (engl. *Functional Unit*) eli määrällinen yksikkö, joka kuvaa tuotteen suorituskykyä jollain valitulla mittarilla. (ISO 14040:1997) Toiminnallinen yksikkö on siis referenssi, johon analyysi pohjataan ja se tekee tutkimuksesta vertai-

lukelpoisen (Judl et al. 2012). Tutkimustavoitteiden ja toiminnallisen yksikön yhdistelmän avulla tuodaan määrälliseksi tarve tai ongelma, johon analyysillä pyritään vastaamaan (Westkämper 2000).

Analyysin ensimmäisessä vaiheessa vastataan kysymyksiin: *Mitä analyysillä tavoitellaan ja mihin tarkoitukseen tietoa halutaan soveltaa? Mikä on tutkimuksen referenssi eli vertailukohta? Mitä kokonaisuuksia analyysiin halutaan sisällyttää ja onko tiedon saatavuus oleellisesti tuloksia rajoittava tekijä? Mitä muita rajoituksia on ja millaisia oletuksia toteutuksessa joudutaan tekemään?* (soveltaen ISO 14040:1997 p.5)

### *Inventaarioanalyysi*

LCI eli inventaarivaihe on monissa artikkeleissa tunnistettu analyysin resurssi-intensiivisimmäksi vaiheeksi. Tässä vaiheessa kerätään informaatiota liittyen analyysiin laajuuteen kuuluvien prosessien input-output -dataan eli siihen mitä kuhunkin prosessiin vaaditaan ja mitkä ovat prosessin lopputuotteita. Prosesseista puhuttaessa tarkoitetaan esimerkiksi raaka-aineiden muutosprosessia, jossa raakamateriaali työstetään muotoon, joka lopputuotteeseen tullaan käyttämään. (ISO 14040:1997, p.7) Toisin sanoen, input-output -data kuvaa prosessin vaiheiden aiheuttamaa muutosta ympäristön näkökulmasta (engl. *environmental exchange*) (Westkämper 2000). Muutokset liittyvät materiaalin, energian sekä veden kulutukseen tai päästöihin ilmassa, vedessä tai maaperässä (Camp & Khalifa 2011). Työstövaiheen parametrien määrittäminen on kriittinen vaihe: siinä parametrisoidaan tuotteen valmistuksen aikaiset tuotantoprosessit eli keinot, joilla puolivalmisteet työstetään raaka-materiaaleista lopulliseksi tuotteeksi. (Otto et al. 2005)

Inventaarivaihe on resurssi-intensiivisyyden ohella erittäin kriittinen vaihe myös siitä syystä, että tuoteinformaation saatavuus voi käytetyistä prosesseista riippuen olla hyvinkin haasteellista. Tässä vaiheessa on mahdollista, että analyysin laajuuteen joudutaan tekemään supistuksia oleellisen tuotetiedon puuttuessa. Yksityiskohtaisessa inventaarivaiheessa ilmoitetaan prosessiparametrit erikseen tuotteen elinkaaren kullekin vaiheille, mutta vaikutuksista lasketaan myös yhteenveto, jossa on ilmaistaan kokonaisvaltaisesti elinkaaren aikainen yhteisvaikutus. (Westkämper 2000)

### *Vaikutusanalyysi*

Elinkaarianalyysin kolmas vaihe on LCIA eli vaikutusanalyysi. Se on oleellinen vaihe analyysin johtopäätöksien kannalta, sillä inventaarivaiheen laskennallisten tulosten pohjalta vaikutusanalyysissä pyritään mahdollisimman tarkasti arvioimaan tuotteesta aiheutuvan ympäristökuorman merkitystä. Analyysin tavoitteista riippuen valitaan asianmukaiset vaikutuskategoriat sekä päätetään keinot, joiden avulla vaikutukset tullaan arvioimaan. Vaikutusanalyysi koostuu pääpiirteittäin kolmesta eri vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa inventaarivaiheen prosessit jaotellaan eri vaikutuskategorioiden alle. Toisessa vaiheessa prosessien vaikutukset pyritään mallintamaan suhteessa valittuun vaikutuskategoriaan ja kolmannessa vaiheessa tuloksien merkittävyyksiä pyritään painottamaan

(engl. *weightning*). Tässä vaiheessa nostetaan esille kaikista merkityksellisimmät ympäristövaikutukset. (ISO 14040:1997) Toisin sanottuna, vaikutusanalyysin avulla tunnistetaan elinkaarenaikaisten prosessien vaikutuksista kaikista oleelliset ja arvioidaan niiden aiheuttamia vaikutuksia valikoitujen mittareiden avulla, joihin myös vaikutuskategorioina viitataan (Westkämper 2000). Laskennassa saadut vaikutukset käännetään indikaattoreiksi ympäristön pilaamisen kannalta. Camp & Khalifa (2011) mainitsevat esimerkkinä hiilidioksidipäästöjen vaikutuksen ilmastonmuutoksen edistymisessä.

Vaikutusanalyysi on elinkaarianalyysin muihin vaiheisiin verrattuna vielä kehitysasteella, ja sen kehittyminen muihin vaiheisiin verrattuna on aina ollut hitaampaa (Rhodes 1993). Jotta vaikutusanalyysissä tehtyjen johtopäätösten avulla voidaan saavuttaa hyödyllisiä muutoksia, tulee analyysin eri vaiheiden olla erityisen läpinäkyviä. Tässä vaiheessa tehdyt oletukset on raportoitava selkeästi ja laskennassa käytetty data tulee olla jäljitettävissä elinkaarianalyysin aiempiin vaiheisiin. (ISO 14040:1997)

### *Analyysin tulkinta*

Ympäristövaikutuksia tarkastellaan monissa eri vaikutuskategorioissa. Elinkaarenaikaisia vaikutuksia vertaillaan muun muassa suhteessa ilmastonmuutokseen, otsonikerroksen koostumukseen, rehevöitymiseen, happamoitumiseen, myrkyllisyytenä ihmisiin ja muuhun ekosysteemiin sekä resurssien, veden, ja maankäyttöön (Rebitzer et al. 2004). Warburg et al. (2005) huomauttavat artikkelissaan, että ympäristöindikaattorien valinta on kriittinen vaihe lopputuloksien kannalta. Indikaattorit, joita analyysissa kannattaa tarkastella, riippuvat vahvasti tarkasteltavasta tuotteesta ja käytetystä teknologiasta. Artikkelissa nostetaan esille, että huonosti valitut indikaattorit kuvaavat vain tiettyä osaa elinkaaresta ja vaarana on vaikutusten siirtyminen elinkaaren eri vaiheiden välillä. Toinen ongelma liittyy liian yksittäisen indikaattorin valintaan, jolloin käytetty indikaattori voi korostaa tuotteen kannalta epäoleellista tuoteominaisuutta. Tällöin analyysin lopputuloksien vääristyminen siirtää huomion pois tuotteen suurimmista ongelmista tai kokonaisuuksista, joiden ympäristöpotentiaali olisi helpommin valjastettavissa.

## **3.2 Elinkaarianalyysi elektroniikkatuotteille**

Monimutkaisten rakenteiden vuoksi tyypillinen elektroniikkateollisuuden tuote kohtaa suuria haasteita elinkaarianalyysin toteuttamisessa. Suurimmat ongelmat liittyvät käytettävissä olevan dataan eli kuinka tarkasti tuotantoprosessi ja siinä käytetyt materiaalit, kemikaalit ja muut syötteet pystytään mallintamaan. Mallinnuksen tukemiseen ja erityisesti elinkaarianalyysin haasteellisen osan eli tuotteen loppusijoituksen erilaisten skenaarioiden (engl. *end of life scenarios*) tekemisen helpottamiseen Baumann et al. (2012) suosittelevat tuotteen pilkkomista eri hierarkiatasoisille ja siten mallintamaan tuotetta pieni osa kerrallaan. Näin materiaaliikohtaiset käsittely- ja hävittämistoimenpiteet on mahdollista mallintaa yksinkertaisemmassa muodossa.

Merkittävimmät päätökset tuotteiden ympäristönäkökohdista tehdään tuotesuunnittelun alkuvaiheessa. Juuri tuotekehitysvaiheessa tuotemäärittelyä tehtäessä on otollisin hetki ottaa huomioon ja punnita eri vaihtoehtojen potentiaalisia ympäristövaikutuksia – ominaisuuksien muuttaminen on tässä prosessivaiheessa kaikista helpointa. (Kärnä 2001; Luttrupp & Lagerstedt 2006; Rebitzer et al. 2004; Holt 1994; Lindahl 1999) Lisäksi päätöksenteko ja tuoteominaisuuksien muuttaminen on kannattavinta niin resurssien kuin kustannustenkin näkökulmasta. Tuotesuunnittelijat ovat avainhenkilöitä, jotka tuoteominaisuuksiin liittyvillä päätöksillään vaikuttavat tuotteen ympäristötaakkaan ja täten onkin tärkeää, että suunnittelijoilla on käytettävissä hyödyllisiä työkaluja ja tietoa päätöksenteon tueksi. (Luttrupp & Lagerstedt 2006) Oman ongelmansa tuotetiedon hankintaan tuovat kolmannet osapuolet eli toimittajat, joiden maantieteellisesti levittäytyneet verkostot vaativat paikallisen datan hankkimista. (Herrmann et al. 2000)

Kuten luvussa 3.1 määriteltiin, on elinkaarianalyysi kehitelty tuotteen elinkaaren aikaisen ympäristövaikutusten analysointiin ja sen perimmäisenä tarkoituksena on näiden vaikutusten minimointi. Loogista siten olisikin, että analyysiä käytettäisiin tuotesuunnittelun alkuvaiheessa, jossa muutoksien tekeminen on helpointa ja kustannustehokkainta. Tämä on kuitenkin ristiriidassa todellisuuden kanssa, sillä tyypillisimmin elinkaarianalyysiä hyödynnetään vasta valmiin tuotteen ympäristövaikutusten arviointiin. (Mueller et al. 2004) Elektroniikkatuotteiden analysoinnin painottumista tuotannon loppupäähän tukee myös Guldbrandsson & Bergmark (2012) näkemys siitä, että LCA:n hyödyllisyys toteutuu parhaiten niin sanotussa *hot spot* -analyysissä, jossa omasta toiminnasta voidaan helposti löytää ne kohdat, jotka kuormittavat ympäristöä eniten. Analyysin avulla voidaan siis tunnistaa heikot kohdat ja keskittyä niiden kohdennettuun valvontaan ja parantamiseen. Tutkijat kuitenkin huomauttavat, että työkalu ei sovellu prosessien tarkkaan mittaukseen ja määrittelevät analyysin ainoastaan malliperusteiseksi tukityökaluksi eikä mittausperusteiseksi tarkan tuloksen lähteeksi.

Mueller et al. (2004) listaavat, että elinkaarianalyysi ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi tilanteissa, joissa innovaatiokyklit ovat lyhyitä ja vastauksia tarvitaan nopeasti. Tähän tarkoitukseen elinkaarianalyysi on artikkelin mukaan liian työläs suorittaa. Myös Laurin et al. (2006) ovat tuoneet esille saman ajatuksen. He vertaavat työmäärää niin suureksi, että tuote ehtisi jo menettää markkina-arvonsa ennen kuin analyysin tulokset saataisiin julki. Nopeaan päätöksentekoon suositellaan yksinkertaisempia ja kevyempiä seulonta-työkaluja. (Mueller et al. 2004).

### 3.2.1 Lähtökohdat ja analyysin laajuuden määrittelevät tekijät

Kuten luvussa aiemmin mainittiin, on analyysin lopputuloksen kannalta tärkeintä määrittää hyvin toiminnallinen yksikkö, joka onnistuneesti määriteltynä kattaa tutkimuksen kaikki dimensiot ja on yhteensopiva mittari tutkimustavoitteen kanssa (Andersen et al. 2014, p.23). Yleisesti toiminnallinen yksikkö elektroniikkalaitteille määritellään esimerkiksi keskimääräisenä käyttönä yhden vuoden aikana (St-Laurent et al. 2012; Judl et

al. 2012; Andersen et al. 2014). Toiminnallisen yksikön pohjalta lähdetään muodostamaan analyysiä rajoittavia tekijöitä eli tutkimuksen reunaehtoja, jotka ovat vahvasti systeemikohtaisia ja siten kullekin tarkastelulle yksilöllisiä. Systeemiä tarkastellaan prosessin kuluttamien resurssien ja energian (input) suhteena syntyvien päästövirtojen (output) määrään. Käytännössä kaikkia attribuutteja ei pystytä kuvaamaan määrällisin yksiköin tai syntyviä jätevirtoja ei usein osata ottaa huomioon. Nämä tekijät luovat tutkimusta rajoittavat raamit eli analyysin reunaehdot, joiden puutteellisuuden vuoksi analyysin teossa joudutaan ajoittain turvautumaan oletuksiin. (Rhodes 1993)

Reunaehdot ja niiden tunteminen vaikuttavat olennaisesti tutkimuksen lopputulokseen ja siihen, mitä hyötyjä analyysin tuloksilla voidaan ylipäättään saavuttaa. Toisin sanoen, kriittistä rajojen tuntemisessa on ymmärrys siitä, että millä tasolla tuloksia voidaan pitää todenmukaisina ja luotettavina: elektroniikkalaitteiden määrittely voi olla hyvinkin hankalaa ja systeemiin vaikuttavia osa-alueita voidaan joutua karsimaan niiden monimutkaisuuden vuoksi. Mitä suurempia kokonaisuuksia on jouduttu jättämään tarkastelun ulkopuolelle, ja millä tasolla on jouduttu turvautumaan oletuksiin, sitä teoreettisempia ja rajoittuneempia tulokset ovat ja niihin on osattava suhtautua sen mukaisesti. (Rhodes 1993) Käytännössä voidaan määritellä, että mitä monimutkaisempi laitteen kokoonpano on, sitä hankalammaksi systeemin rajojen määrittely muodostuu ja tehtyjen oletuksien tai tutkimuksen tarkastelun ulkopuolelle jäävien kokonaisuuksien määrä kasvaa (Judl et al. 2012).

Judl et al. (2012) esittelevät reunaehtojen tarkastelun lähtökohdaksi erilaisten käyttäjäprofiilien määrittelyn. Toisin sanoen, artikkelissa ehdotetaan tuotteen käytön aikana syntyvien ympäristövaikutuksien lähestymistä erilaisten käyttäjäskenaarioiden avulla. Mitä suurempi merkitys käyttäjän valinnoilla ja käyttötottumuksilla on tuotteen kuluutukseen, sitä monimutkaisemmaksi elinkaariarvion rajojen suoraviivainen määrittäminen muodostuu. Kun käyttäjäskenaariot otetaan mukaan tarkasteluun, voidaan monimutkaisten laitteiden käyttöön liittyviä ympäristötaakkoja tarkastella tarkemmin. Tällä tavalla on mahdollista tunnistaa suurimmat epäkohdat käyttövaiheen aikana, jotka saadaan vertailemalla toisiinsa eri profiileille laskettuja tuloksia.

Datankeruu laskelmia varten on eniten aikaakuluttava vaihe elektroniikkalaitteiden monimutkaisuuden vuoksi. Tästä syystä joudutaan tekemään uusia supistuksia ja oletuksia osa-alueista, joiden nähdään vaikuttavan vähiten laitteen kokonaisympäristötaakkaan. Tyypillisesti analyysin supistamiseksi vain oleellisimmat vaiheet otetaan mukaan tarkasteluun. Poisjäävä kategoria elektroniikkatuotteille on yleisimmin pakkausmateriaalit. Lisäksi datankeruussa saatetaan joutua käyttämään toissijaista datalähdettä, eli valitaan esimerkiksi energiankulutustiedot tuotteelta, joka on mahdollisimman samanlainen tarkasteltavan laitteen tai komponentin kanssa. (Judl et al. 2012)

Valmistietokannat tarjoavat osittaisen ratkaisun datankeruun ongelmiin. Nykyään on saatavilla yleisesti käytössä olevia tietokantoja, joihin on kerättyä tietoa materiaalien



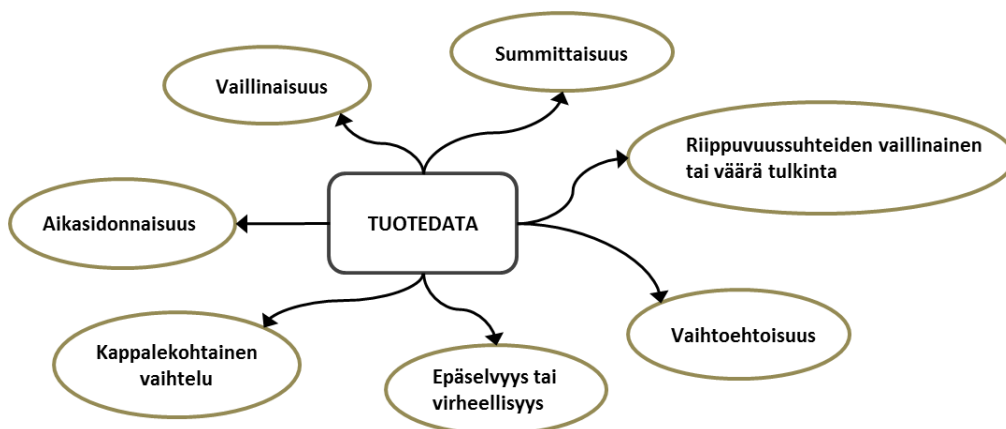
työstämisprosesseista. Näistä materiaalien käsittelyprosesseista Andersen et al. (2014) korostavat elektroniikkatuotteille etenkin metallien esikäsittelyyn liittyvää valmista prosessitietoa. Valmiiden tietokantojen hyödyntäminen on yleistä ja järkevää, sillä esikäsittelyyn liittyvät prosessit ovat pitkälle vakioituja menetelmiä, eikä niiden tuotantodata vaihtelee tuotteesta riippuen. Lisäksi valmiiden tietokantojen hyödyntäminen nopeuttaa analyysin tekemistä huomattavasti. Tällainen valmistietokanta on esimerkiksi *Ecoinvent*-tietokanta, josta löytyy prosessointitietoa elektroniikkalaitteissa yleisimmin käytössä oleville metalleille. (Andersen et al. 2014, p.25) Lisäksi artikkeleissa mainitaan usein *GaBi*-tietokanta. (Baumann et al. 2012) Myös Euroopan-laajuinen elinkaaritietoa sisältävä tietokanta nimeltä *European Lifecycle Database* on kehitettynä (Prendeville et al. 2011).

### 3.2.2 Päätöksenteon epävarmuustekijät

Elinkaarianalyysin käyttöä elektroniikkateollisuuden tuotteisiin liittyvässä päätöksenteossa on tutkittu monissa eri lähteissä, sillä LCA:n tuomat hyödyt ympäristöasioiden analysoimisesta on koettu kiinnostaviksi. (Rhodes 1993; Valkama & Keskinen 2008) Analyysin lopputuloksia voidaan kuitenkin pitää edelleen jossain määrin vain suuntaa-antavina, sillä standardia metodologiaa ei sen suorittamiseen ole vielä kehitetty. Kuten edellisessä luvussa mainittiin, sisältää analyysi monimutkaisilla laitteilla paljon oletuksia ja ongelmana on tuotetiedon laatu ja saatavuus. Monissa tutkimuksissa käytetäänkin paljon keskiarvostettua tuotetietoa tai tuotetiedon puuttuessa analyysiin sisällytettäviä osioita on supistettu. Tämä vaikuttaa omalta osaltaan lopputulokseen ja sen paikkansapitävyyteen. Tutkimuksia erilaisten määritelmien ja analyysissä tehtyjen oletusten vaikutuksista analyysin lopputulokseen onkin tehty useita (Guldbrandsson & Bergmark 2012; Finnveden et al. 2009; Judl et al. 2012; Valkama & Keskinen 2008)

Analyysiin liittyviä epävarmuuslähteitä käsittelevissä artikkeleissa on tutkimuksesta riippuen listattu erilaisia epävarmuustekijöitä, mutta yhteinen huoli tutkimuksissa on ollut käytettävissä oleva tuotetieto ja siihen liittyvät ongelmat. Datan luotettavuuteen on monia seikkoja, jotka tulee ottaa huomioon analyysin tiedonkeruuvaiheessa. (Lindahl 1999) Analyysissä käytetyn tiedon laadullinen merkitys on oleellista, jotta tulos palvelee käyttötarkoitustaan. Finnveden et al. (2009) on koonnut yhteenvedon epävarmuustekijöistä liittyen analyysissä käytettyyn dataan. Kuva 3.3 koostaa kaikki epävarmuuden ulottuvuudet. Datan luotettavuuteen vaikuttaa niin itse dataan liittyvät seikat, mutta yhtä oleellista on käyttäjän huolellisuus ja osaamiskyky tulkita saatavilla olevaa tietoa. Tieto voi olla summittaista tai jopa vaillinaista ja lisäksi on huomioitava, että tuotetieto on aina aikasidonnaista, kappalekohtaista ja sen kirjaamisessa on voinut tapahtua inhimillisiä virheitä. Oleellista on myös osata valita määrittelyjen mukainen seuraavaksi paras vaihtoehto, jos ensisijaista tietoa ei ole saatavilla. Lisäksi usein monimutkaisien rakenteiden ja materiaaleista johtuvien ympäristövaikutusten tulkinnassa voi sattua virheitä. Lindahl (1999) nostaa esille myös huolen siitä, että jos tuotetiedon saatavuus on kovin

vaillinaista, voi pienikin muutos datassa saada aikaan suuria muutoksia. Toisin sanoen, analyysin lopputuloksessa on varianssia ja se heikentää omalta osaltaan tulosten vertailukelpoisuutta.



**Kuva 3.3** Tuotetiedon epävarmuuslähteet (mukaillen Finnveden et al. 2009, p.14).

Guldbbrandsson & Bergmark (2012) puolestaan kategorisoivat epävarmuustekijät parametri-, skenaario- ja malliperusteisiin ryhmiin. Parametriperusteiset tekijät liittyvät käytetyn tiedon laatuun ja tarkkuuteen, skenaarioperusteiset tekijät sisältävät epävarmuustekijät liittyen analyysissä tehtyihin valintoihin ja päätöksiin: mitä seikkoja otetaan huomioon ja mitä jätetään rajauksen ulkopuolelle. Malliperusteiset tekijät viittaavat prosessitietoon ja oman toiminnan vaikutusmekanismien epätäydelliseen tuntemiseen. Kaikkia epävarmuustekijöitä ei pystytä kuvantamaan määrällisin termein, ja siksi nämä epävarmuustekijät tulee kartoittaa huolella, jotta tulosta voidaan pitää luotettavana. Valkama & Keskinen (2008) huomauttavat, että analyysin yksinkertaistuksia tehtäessä on hyvä olla selvillä erilaisten yksinkertaistamistoimien vaikutuksesta analyysin paikansäilyvyyteen. Heidän mukaansa tiettyyn pisteeseen yksinkertaistetulla analyysillä on etunsa, sillä supistetulla analyysillä on mahdollista saada samansuuntaisia tuloksia kuin täysmittaisella LCA:lla, mutta vähemmällä vaivalla. Tämä ei tietenkään toimi, jos tarvitaan yksityiskohtaisempia tuloksia. Yksinkertaistettu malli toimii siis vain ylemmän tason kartoituksessa, eikä sen nähdä korvaavan täysmittaista elinkaarianalyysia, jos tuloksista odotetaan tarkkoja vastauksia esimerkiksi eri tuotekokoonpanojen vertailuun.

Tuotekehityksen ja kehitettävän teknologian kypsyysaste määrittelee myös paljon analyysistä saatavaa hyötyä. Uuden teknologian kohdalla tarkkaa tuotetietoa ei välttämättä ole riittävästi tarjolla, jotta analyysi kuvaisi teknologian todellisia ympäristövaikutuksia. Jotta eri vaihtoehtoja voidaan ylipäätään vertailla, tulee olla määritettynä vertailun lähtökohta eli referenssisysteemi, johon tehtyjä muutoksia voidaan peilata ja muutoksien merkittävyys on arvioitavissa (Judl et al. 2012). Toisaalta analyysin suorittamisen tekee ongelmalliseksi myös se, että tuotesuunnittelun alkuvaiheessa tuotespesifikaation tarkka sisältö ja lopullinen tuotesuunnitelma ovat vielä määrittelemättä. Tällaisissa tilanteissa ei analyysin yksinkertaistamiselta pystytä välttymään ja mahdollisesti kokonaisia osalualueita voidaan joutua jättämään tarkastelun ulkopuolelle. (Valkama & Keskinen 2008)

Elinkaarianalyysi on aina tuottajansa näköinen - analyysin lopputulos vaihtelee tekijästä ja hänen tekemistään olettamuksista, laajuuden supistuksista ja datankeruun lähteistä riippuen. Analyysin toteuttaminen sisältää siis tietyn määrän subjektiivisuutta, joka aiheuttaa lisää vertailtavuusongelmia. Olisi tehokasta pystyä vertailemaan tuotteita perustuen niiden LCA tuloksiin, mutta subjektiivisuus heikentää olennaisesti eri tuloksien vertailua ja siten lisää epävarmuutta päätöksentekoon liittyen. (Laurin et al. 2006) Oletukset tehdään aina olemassa olevan tiedon perusteella. Subjektiivisuutta on mahdollista poistaa tarkkojen ohjeiden avulla, mutta analyysin tuotespesifisyys estää tarkkojen sääntöjen laatimisen ja tällöin tekijällä on aina sanavaltaa analyysin suorittamiseen liittyen.

Viimeisenä kirjallisuudessa esiintyvänä päätöksentekoon vaikuttavana epävarmuustekijänä on ongelma liittyen tiedonhankintaprosessiin. Otto et al. (2005, p.436) mainitsevat, että jos tarkkoja sääntöjä tiedonkeruuseen ei ole, saattaa olla vaarana, että analyysi projisoituu ennako-oletuksien suuntaan eikä enää kuvanna todellista tilannetta. Artikkelissa siis nostetaan esille toteutuksellinen epäkohta, jolloin varsinkin kokematon ja analyysin teoriaa tuntematon toteuttaja saattaa tietämättään muokata tuloksia ennako-oletustensa suuntaisiksi ja siten myös virheellisiksi lopputuloksiksi.

### 3.2.3 Yleiset mallit ja niiden hyödyntäminen

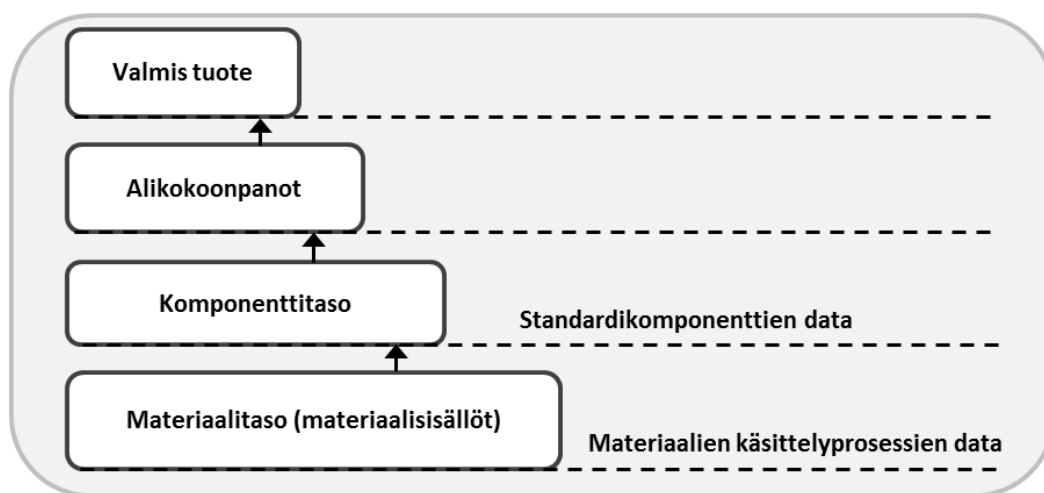
Kirjallisuudesta löytyy muutamia tutkimuksia, joissa on yritetty löytää keinoja elektroniikkalaitteiden elinkaariarvion toteuttamiseen rajoitetulla tuotetiedolla. Moduuliperusteisen näkökulman tuotetiedon keräämiseen on nähty hyödyttävän juuri elektroniikkateollisuuden tuotteita niiden monimutkaisuuden vuoksi. Modulaarisuus ja tuotetiedon jakaminen yhteiseen käyttöön helpottaa elinkaarianalyysin prosessia huomattavasti, sillä se minimoi tuotetiedon keräykseen kuluvan ajan sekä tuotantoprosessien mallinnusprosessien vaatiman asiantuntevuuden, jotka ovat kriittisimpiä tekijöitä elinkaarianalyysin kannalta. (Herrmann et al. 2000; Baumann et al. 2012)

Herrmann et al. (2000) tutkivat miten yleisten mallien käyttöä voidaan soveltaa elektroniikkalaitteiden ympäristöarvioinnissa. Ratkaisun keskiössä on idea siitä, että valmiiksi mallinnettuja moduuleja voidaan käyttää hyväksi elinkaariarviota tehtäessä ja säästää käytettävissä olevia resursseja. Tällöin voidaan paremmin keskittyä analyysin lopputuloksia analysoivaan vaiheeseen. Artikkelissa painottuu sitä, että moduuliperusteisen mallin avulla LCA:ta voidaan käyttää myös nopeiden tuotesuunnittelupäätösten tekoon: alikoonpanoja mallintavien moduulien vaihdeltavuus mahdollistaa tulosten ympäristöprofiilien nopean vertailun. Tällä tavoin on mahdollista saada suuntaa-antavia näkökulmia tuotesuunnittelun eri variaatioiden välille.

Yleisten mallien lähtökohtana ovat esimääritetyt datasetit. Nämä tietokannat sisältävät valmiiksi määritettyä tuotetietoa komponenteista, joiden nähdään mallintavan riittävällä tasolla kyseessä olevaa komponenttityyppiä. Tällöin jo mallinnetun komponentin parametritietoja voidaan hyödyntää myös samankaltaisten komponenttien analyysissä. Toi-

sin sanoen, ideana on määrittää valmiiksi erilaisia LCA profiileja, jotta analyysin teko-  
vaiheessa luotettavaa komponenttidataa ei tarvitse itse lähteä alusta asti kokoamaan.  
Profiileissa on käytössä keskiarvostettua teknistä tietoa kyseessä olevasta kohteesta.  
(Herrmann et al. 2000) Jos analyysin tarkoitus (engl. *scope*) vaatii tarkempaa tuotetie-  
toa, on senkin lisääminen tai täydentäminen tehty mahdolliseksi. Muutamalla yleisten  
valmiiksi määriteltujen moduulien parametriarvoja, kuten esimerkiksi dimensioita tai  
massaa, voidaan moduuleja muokata vastaamaan omaa teknologiaa. (Baumann et al.  
2012)

Yleiset mallit mallinnetaan tyypillisesti hierarkisessa muodossa, jolloin tuotteen eri  
kokonaisuudet voidaan paremmin hahmottaa. Pilkkomalla tuote palasiksi eri osatasoille,  
on mahdollista paikantaa osat tai osakokonaisuudet, joissa saatavilla oleva tuotetieto on  
vaillinaista ja jonka mallinnukseen tarvittaisiin valmiiksi määritettyä profiilia. Tuotteen  
pilkkomista osiin kutsutaan myös nimellä tuotantomalli (engl. *production model*)  
(Baumann et al. 2012). Kuva 3.4 mallintaa yksinkertaisella tasolla tuotteen hierarkista  
mallia. Kuvassa ylinä on tuote kokonaisuudessaan, sen alla tuotteen sisältämät aliko-  
koonpanot. Näiden alle on listattuna alikokoonpanojen sisältämät komponentit ja edel-  
leen viimeisimpänä tasona on komponenteissa ja tuotteen muissa osissa käytetyt materi-  
aalit. Näistä tasoista eritoten materiaali- ja komponenttitason tuotetieto tuovat esiin  
yleisten mallien hyödyt: materiaali- tai komponenttivaihtoehtoja muuttamalla saadaan  
yhdisteltyä erilaisia tuotevariaatioita ja siten tuotettua tietoa eri vaihtoehtojen välisistä  
eroista liittyen ympäristön kuormittamiseen.



**Kuva 3.4** Tuotetiedon eri tasot (mukaillen Warburg et al. (2005) & Nissen et al. (1997))

Yleisten mallien ja etenkin yleishyödyllisen prosessidatan jakaminen toimialan kesken  
on tunnistettu jo pitkään olevan avainasemassa LCA-prosessin onnistumiselle. Nissen et  
al. (1997, p.183) mainitsevat artikkelissaan tuotesuunnittelijoiden kohtaaman ongelman  
liittyen prosessidatan saatavuuteen yrityksen ulkopuolisilta toimijoilta. Warburg et al.  
(2005) korostavat, että monesta eri lähteestä kerätty ja yhdistetty data tarjoaa verrattain

vakaan tietopohjan analyysille ja parantaa tulosten luotettavuutta. Laurin et al. (2006, p.7) mainitsevat myös edut liittyen monesta tietolähteestä kerättyyn informaatioon ja näin parantuneeseen tiedonlaatuun ja tarkkuuteen. Toisaalta artikkelissa nostetaan esille jaetun tiedon varjopuoli eli datamanipulaatio. Datan oikeellisuudesta tulee siis varmistua ja tietoa pitää ylläpitää jatkuvien katselmointien muodossa.

Analyysin lopputulos ja tarkkuus on kuitenkin vahvasti riippuvainen siitä, kuinka paljon tarkennettua tuotekohtaista tuotetietoa käyttäjä on analyysiin sisällyttänyt: analyysi vain yleisiin malleihin pohjautuen antaa erittäin karkean kuvan verrattuna tilanteeseen, jossa on käytetty tarkkaa prosessi- ja tuotetietoa. Yleisten mallien käyttö nähdään kuitenkin järkevänä lähtökohtana tuottaa päätöksentekoa tukevaa informaatiota. Warburg et al. (2005, p.227) kuvaavat yleisten mallien käyttöä päätöksenteossa niin sanottuna keskitienä kattavan tuotetiedon hankkimisprosessin ja keskiarvoja käyttävän analyysin välillä. Myös Nissen et al. (1997) ovat sitä mieltä, että tuotesuunnittelun kannalta nopeus on ratkaisevampaa kuin tarkka lopputulos. Keskimääräisen datan käyttäminen paljastaa pahimmat ongelmakohdat nopeammin ja vähemmällä vaivalla.

### 3.2.4 Tuotetieto ja sen hallitseminen

LCA:n kriittisimmäksi vaiheeksi useissa lähteissä on luokiteltu LCI. (Köhler et al. 2012; Otto et al. 2005) Tämä pätee eritoten tilanteissa, joissa analyysia hyödynnetään innovaatioprosessiin alussa ja tarkoituksena on hyödyntää analyysin lopputuloksia esimerkiksi eri kokoonpanojen vertailuun. Tuotekehityksen alkuvaiheessa on paljon epävarmuustekijöitä liittyen tuotteen ominaisuuksiin, uusiin materiaaleihin, tuotantoprosesseihin ja tuotteen käyttötarkoitukseen, joten tarkan määrittelyn tekeminen on tässä vaiheessa erittäin haasteellista. (Köhler et al. 2012)

Raakamateriaalien tuotantoprosessit ovat suurimmassa osin nykyään jo standardimuotoisia ja niiden tuotantoprosessien määrittely soveltuu pohjaksi monille tuotteille ilman erillistä muokkausta. Vaikein osuus on kuitenkin muutosprosessin (engl. *transformation process*) määrittely eli vaiheen, jossa raakamateriaalista muokataan suunnitelmia vastaava lopputuote. (Otto et al. 2005) Nämä prosessit ovat uniikkeja ja prosessien määrittely prosessitiedon valossa vaatii erikoisosaamista. Käytännössä aina uusille tuotteille ja teknologioille tulisi määrittää analyysia varten uusi tietokanta, jotta mallinnus voidaan toteuttaa riittävällä tarkkuudella.

Uuden materiaalitietokannan määrittäminen voi olla hyvinkin aikaa ja resursseja vievä prosessi: kriittisyyden vuoksi se on tehtävä huolella, sillä sen onnistuminen määrittää koko elinkaariarvion luotettavuuden. Etenkin pienemmille toimijoille tällainen työtaakka on käytännössä mahdoton. Otto et al. (2005) ehdottavat, että tällaisissa tilanteissa tulisikin suosia tapaa, jossa uusi tietokanta rakennetaan hyödyntäen valmiiksi määritellyjä tietokantoja. Tällöin saadaan helpommin rakennettua kustomoitu tietokanta valmiin tietokantapohjan päälle. Lisäksi säästyy aikaa, kun tältä osin on mahdollista hyödyntää

esimääritettyä prosessidataa ja keskittyminen voidaan kohdentaa tuotekohtaisen muutosprosessin mallintamiseen. (Otto et al. 2005)

Tiedonkeruussa ja tietokantojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon analyysin tulosten tarkoitus. Se mitä analyysillä lähdetään selvittämään määrittää pitkälle tarkkuuden, jolla analyysin suoritetaan eli sen miten tarkkaa tuotetietoa on analyysissä käytettävä. Yleisellä tasolla tehtävään tutkimukseen soveltuu käytettäväksi keskiarvostettu yleiskäyttöinen data, mutta mitä tarkemmalla tasolla tuotteen ympäristövaikutuksia halutaan tarkastella, sitä tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa tuotetieto on analyysiin sisällytettävä. Käytetyn tietokannan valitseminen tai rakentaminen on siis tehtävä analyysin käyttötarkoituksen mukaan. (Orgelet et al. 2012)

## 4. PK-YRITYSTEN KENTTÄ

Pienten ja keskisuurten yritysten osuus Euroopan tasolla on suuri. Tästä huolimatta pk-yritysten ympäristöjohtaminen on etenkin elektroniikkateollisuuden saralla vielä verrattain tutkimaton kohde. Kokonsa puolesta pienet ja keskisuuret yritykset kohtaavat erilaisia ja haastaviakin ongelmia ympäristöasioiden hallinnassa verrattuna kokoluokaltaan suurempiin yrityksiin, ja kaipaavat erityistä tukea yrityksen ulkopuolisilta tahoilta. (Schischke et al. 2006) Ympäristöjohtamisen viitekehys on tyypillisesti hyvin raskas pk-yritysten kannalta tai siihen liittyvät toiminnot, kuten elinkaarianalyysin suorittaminen, voivat olla teoreettisuutensa vuoksi mahdotonta toteuttaa erikoisosaamisen tai ylimääraisten resurssien puuttuessa. Pk-yritysten aiheuttamia ympäristövaikutuksia tyypillisesti vähätellään ja tarkkaa tietoa todellisista vaikutuksista on systemaattisen johtamisen puuttumisen vuoksi tarjolla hyvin vähän.

Tässä luvussa pyritään määrittelemään pienten ja keskisuurten yritysten merkitystä ympäristövaikutusten pienentämisessä. Luvussa käsitellään pk-yritysten asemaa osana yritysverkostoa ja toimitusketjua toimittajan roolissa. Lisäksi nostetaan esille mahdollisuuksia eli motivaatiotekijöitä, joiden kannalta ympäristöasioiden huomioiminen myös pk-yrityksissä nähdään kannattavana toimintana. Luvun viimeisessä osassa käsitellään pienten ja keskisuurten yritysten ympäristöjohtamisen nykytilaa.

### 4.1 Pienet ja keskisuuret yritykset

Pienet ja keskisuuret yritykset ovat määritelmänsä mukaan yrityksiä, joissa työskentelevien henkilöiden määrä on alle 250 kappaletta ja joiden vuosittainen liikevaihto on alle 50 miljoonaa euroa. (2003/361/EY) Euroopassa pk-yrityksiä on suhteessa paljon ja siten niiden merkitys markkinarakenteessa on suuri. Hillary (2004) nostaa esille seikan, että suuren markkinaosuuden vuoksi pk-yritysten osuus myös ympäristötaakan aiheuttajana on oleellinen, mutta sitä ei kuitenkaan riittävällä laajuudella vielä tunneta. Pk-yrityksille mainitaan tyypillisenä, että oman toiminnan ympäristövaikutuksia ei mielletä yhtä vakaviksi verrattuna toimialan suuriin toimijoihin (Van Hemel & Cramer 2002). Alonso et al. (2012) nostavat esille myös sen, että iso osa pk-yritysten niin sanotusta piittaamattomuudesta johtuu silkasta tietämättömyydestä. Vähäinen tieto ympäristöasioissa voi siis olla merkittävä syy passiivisuuteen.

Pk-yritysten kenttä on vaikea määritellä yksioikoisesti, sillä määritelmän sisään mahtuu paljon vaihtelua liittyen yrityksen kokoon ja mahdollisuuksiin kehittää ympäristönäkökulmien huomiointia. On oleellista huomata, että resurssit alle 50 henkilön yrityksissä ovat merkittävästi erilaiset verrattuna yrityksiin, joissa työskentelee yli 200 henkilöä.

Tästä syystä tämän sektorin huomiointi lainsäädännössä on otettu oleelliseksi osaksi EU:n kestävän kehityksen tavoitteita (Enterprise Europe Network 2013).

Pk-yritykset etenkin Euroopassa ovat tyypillisesti toimittajia, jotka toimittavat alikokoonpanoja tai komponentteja suuremmille valmistajille. Tästä syystä pk-yrityksillä on hyvin vähän sanavaltaa lopputuotteiden ominaisuuksiin, sillä ne ovat vain pieni osa tuotteen lopullisesta kokoonpanosta. (Schischke et al. 2006) Ulkoiset paineet vihreistä tuotteista kohdistuvat tyypillisesti vain suuremmille tuottajille ja brändeille pienempien yritysten jäädessä vähemmälle huomiolle. Tämä johtaa kahdensuuntaisiin ongelmiin pienempien yritysten näkökulmasta: paineet toiminnan ekokehittämiselle eivät ole suuret ja niitä ei nähdä vaivan arvoisiksi, toisaalta myös vihreän aatteen toteuttamiseen vaadittavien työkalujen ja muiden tukevien toimintojen kehittäminen soveltuvaksi myös pienemmille yrityksille jää vähemmälle huomiolle, vaikka juuri näihin ongelmiin pk-yritykset tarvitsisivat eniten apua. (Van Hemel & Cramer 2002)

Toimittajan näkökulmasta paine ympäristöasioiden huomioimiseen tulee yleensä lopputuotteen valmistajalta ja pk-yritysten tuotteen tulee olla kilpailukykyinen sen kilpailijoihin verrattuna: markkinoilla dominoivat kustannusseikat ja suorituskyky eikä ympäristöasioilla nähdä olevan suurta kilpailullista merkitystä. (Schischke et al. 2012) Tulevaisuudessa tämän merkityksen oletetaan kuitenkin kasvavan, sillä useissa lähteissä tuodaan esille asiakkaiden ympäristötietoisuuden leviäminen ja sen aiheuttama paine lopputuotevalmistajille kohti ekologisempia tuotteita. Tämä tietoisuuden lisääntyminen vaikuttaa epäsuorasti myös emoyrityksen toimittajiin eli pk-yrityksiin. Tätä näkökulmaa puoltaa myös Van Hemel & Cramer (2002) näkökulma siitä, että pk-yritysten motivaatio keskittyä kestävään toimintaan tulee ulkoisia tekijöitä voimakkaammin yrityksen sisäisestä kunnianhimosta ekoinnovaatioiden kehittämisessä ja tuotelaadun parantamisessa uusien potentiaaliin markkinoiden toivossa.

## 4.2 Yritysverkostot ja toimittajien asema

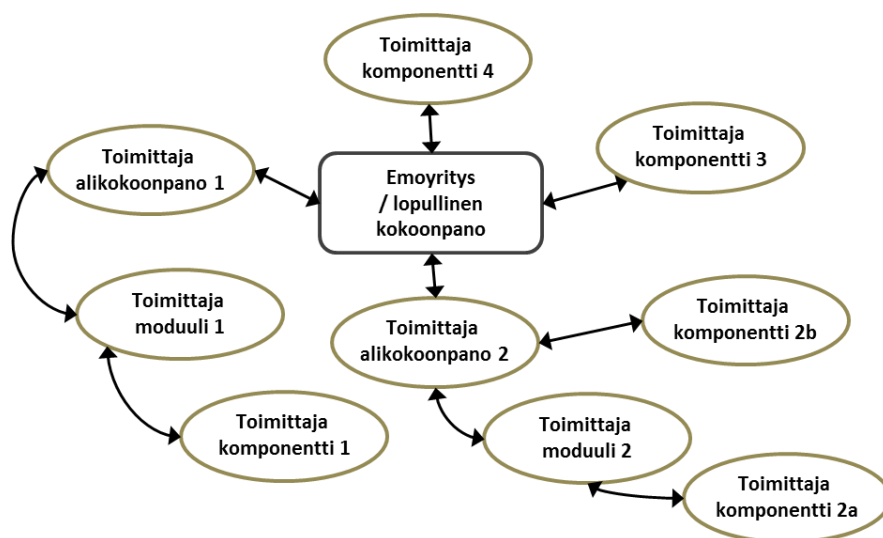
Tuotesuunnittelupäätösten tekeminen ei ole yksinkertaista vaan päätöksentekoon ja siinä onnistumiseen vaikuttaa olennaisesti yrityksen toimintaympäristössä olevat toimijat. Tehtyjen päätösten tulee olla linjassa nykyydirektiivien ja muiden laillisten sääntöjen kanssa, vastata asiakastarpeisiin, olla kilpailukykyisiä verrattuna kilpailijoiden tasoon ja yleiseen teknologiakehitykseen. Lisäksi omien ympäristölinjauksien asettamisen ohella tulee varmistua koko valmistusverkoston samankaltaisesta näkemyksestä ja arvioida toisten osapuolten suorituskykyä vastata näihin linjauksiin. (Kärnä 2001, p.16)

Nykypäivänä yritykset ovat osa monisyistä ja monimutkaista verkostoa, jossa yrityksen liiketoimintoihin kietoutuu useita eri toimijoita niin yrityksen sisällä kuin ulkopuolella. Yksi yritys harvoin vastaa koko tuotteen valmistuksesta. Tilanne tyypillisimmillään on se, että emoyhtiö ostaa suunnittelemansa tuotteen osat joko komponentteina, moduuleina tai valmiina alikokoonpanoina alihankkijoilta ja ainoastaan kokoonpano suoritetaan



pääyhtiön toimesta. (Otto et al. 2005; Kärnä 2005, pp.7–9) Yritys on siis vain osatekijä laajemmassa verkostossa, jonka toimintaan oleellisesti vaikuttaa alihankinta ja muut toimitusketjun toimittajat sekä sidosryhmät. Tästä syystä oman toiminnan arvioiminen tai muuttaminen ei ole yksinkertaista, sillä yrityksen tuottamaan ympäristötaakkaan vaikuttaa moni tekijä myös epäsuoralla tavalla. (Karlsson & Luttrupp 2006, p.1294) Toisaalta, koska tyypillisesti pk-yritys on alihankkija suuremmalle yritykselle, sen toimintaa määrää pitkälle emoyhtiön vaatimukset ja tavoitteet. Toimittajavalinnassa emoyritys voi tehdä vertailua eri toimittajavaihtoehtojen välillä valintakriteerien perustuesssa myös ympäristöjohtamisen tasoon. Toimittajakilpailussa ekopaineiden kanssa painivan emoyhtiön silmissä ovatkin etualalla ne toimittajat, jotka pystyvät vastaamaan kiristyneisiin vaatimuksiin. Tämä voidaan nähdä myös erinomaisena motivaatiolähteenä toimittajien omalle ympäristöjohtamiselle.

Maantieteellisestä sijainnista riippuen tuotteiden ja tuotannon toimitusketjut vaihtelevat, mutta Euroopassa hyvin tyypillisesti teolliseen tuotantoon osallistuu monta erillistä toimijaa ja toimitusketju on pitkälle verkottunut. Toimittajayhteistyö ei rajoitu kansallisiin rajoihin vaan toimitusketjut ovat nykyään globaaleja verkostoja ja hankintaketjut saattavat ulottua pitkienkin välimatkojen päähän. (Otto et al. 2005) **Kuva 4.1** kuvaa tuotantovaiheen verkostorakennetta ja siitä on nähtävissä verkoston rakenne kuvitteellisen tuotteen toimitusketjussa. Verkosto on siis epämääräinen ketju eritasoisia toimittajia ja tuotteen kokoonpanossa saattaa olla monen eri linkin kautta toimitettavia komponentteja, jossa emoyritys hoitaa vain tuotteiden lopullisen kokoonpanon ja viimeistelyn.



**Kuva 4.1** Yritysverkoston eri tasot ja verkon monimutkaisuus tuotteen valmistuksessa (kuvitteellinen rakenne, mukaillen Otto et al. 2005, p.431 ja Orgelet et al. 2012).

Yrityksen alihankinta tapahtuu yleisesti kahdella eri tavalla: 1) yritys ostaa toimittajalta standardikomponentteja, jotka sopivat oman tuotteen vaatimuksiin tai 2) alihankkija valmistaa tarvittavat komponentit yrityksen oman suunnitelman mukaisesti, jolloin komponentin tilaavalla yrityksellä on enemmän sanavaltaa komponenttien tuotantoon

liittyen sekä omasta takaa tuotetietoa valmistettavasta komponentista. Yrityksen ostaessa toisen osapuolen suunnittelemaa komponentteja voi tuotetiedon saaminen olla hankalaa. Toisaalta standardikomponenteille datalehdet ovat yleensä saatavilla, mutta valmistukseen liittyvät seikat voivat olla hankalampia määrittää tarkasti.

Globalisoituminen ja kansainväliset hankintaketjut, joiden rakentamisen päätavoitteena on tuotantokulujen minimointi, asettaa omat haasteensa ekologiselle tuotannolle. Elin-kaarianalyysin päätavoitteena on estää ympäristötaakkojen siirtymistä tuotantoketjussa, mutta hankintapainotteiselle tuotannolle eri toimittajien toiminnan ympäristötehokkuuden arviointi asettaa omat haasteensa tuotteen kokonaisvaikutusten arviointiin. Elektro-niikkatuottajille on ollut kasvava trendi siirtää toimintaa tai keskittää hankintaa halvemman hintatason maihin, jotta tuotannon kokonaiskustannuksia saadaan pienennettyä. (Mueller et al. 2004; Orgelet et al. 2012) Ulkopuolisten toimijoiden astuessa mukaan on kestävä kehityksen strategioita haasteellisempaa valvoa etenkin, kun painopiste kehittyvissä maissa on vielä eri tasolla. Tästä syystä ympäristöystävällisten toimintatapojen kansainvälisten sääntöjen kehittäminen on erittäin tärkeää. (Mueller et al. 2004)

Hankintaverkoston kokonaisvaltainen ympäristöjohtaminen eli toimittajayhteistyö on ratkaisevassa asemassa tuotteesta aiheutuvien kokonaisvaikutuksien määrittämisessä (Holt 1994). Myös oikeanlainen viestintä toimitusketjussa estää ongelmakohtien siirtymistä ketjun sisällä, ja tästä syystä toimittajayhteistyön kehittämisellä on suuri merkitys elinkaariajattelun ja kokonaisvaltaisen ympäristöjohtamisen kannalta (Mueller et al. 2004). Pitkälle ketjuuntuva toimitusverkosto on vaativa ympäristö, jossa käytännöllisyys toimittajien välisessä viestinnässä korostuu. Schischke et al. (2012) mainitsevat toimitusketjun hallinnan ja sen sisällä liikkuvan kommunikaation tai sen puutteen suurimmaksi ongelmaksi osallistaa pk-yrityksiä kohti systemaattisempaa ympäristöjohtamista. Jotta tarvittava tuotetieto saadaan kerättyä myös toimittajilta, on yksinkertaisuus ja helppous tiedonvälityksessä oleellista. Elektroniikkakokoonpanoja kokoava BOM (engl. *Bill of Materials*) nähdäänkin monissa artikkeleissa ratkaisevana linkkinä siihen, että pystytään helposti näkemään puuttuvien komponenttien tiedot ja kohdentamaan kyselyä oikean toimittajan suuntaan. (Otto et al. 2005; Herrmann et al. 2000; Baumann et al. 2012)

Euroopan-laajuisen pk-yritysten ympäristötietoutta käsittelevän tutkimuksen ”LCA to to” mukaan pk-yritykset joutuvat yhä kasvavassa määrin toimittamaan tuotteensa materiaalidataa lopputuotteen valmistajalle. Asiakasyrityksen vaatimaa dataa ovat yleisimmin tuotespesifikaatiot tai todistukset yhteensopivuudesta vallitsevien lakien tai direktiivien kanssa. Myös data liittyen energiankulutukseen kuuluu nykyään vaatimuksiin. Tämä selittyy sillä, että elektroniikkateollisuuden ympäristöpaineet kohdistuvat lopputuotteen valmistajaan, joka kerää lopputuotteeseen liittyvän tuoteinformaation tavarantoimittajiltaan. (Schischke et al. 2012) Myös kiristynyt lainsäädäntö liittyen ainerajoituksiin, tiettyjen metallien käyttöön ja palonestoaineiden käyttökieltoihin pakottaa pk-yrityksiä todistamaan materiaalikäyttöään.

### 4.3 Ajurit ekodesignin täytäntöönpanoon

Ympäristömyönteisen toiminnan motivaatiotekijät ovat joko ulkoisia tai sisäisiä tekijöitä. Ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi asiakkaan odotukset tai lainsäädännölliset seikat, kuten jo aiemmin työssä mainitut direktiivit ja asetukset. Sisäisiä tekijöitä ovat prosessi- ja tuoteinnovaatiot. (Karlsson & Luttrupp 2006, p.1292) Tärkeimmät motivaationlähteet ympäristömyönteisen toiminnan kehittämiseksi painottuvat ulkoisiin tekijöihin, joista Luttrupp & Lagerstedt (2006) nostavat kriittisimmäksi markkinoiden eli asiakkaan vaatimukset. He korostavat, että jos painetta yrityksen ulkopuolelta ei tule, ei toiminnan kehittämistä ympäristöystävällisempään suuntaan nähdä tarpeeksi kannattavaksi siihen nähden, millä tasolla kehittämistoimenpiteet resurssseja vaatisivat.

Schischke et al. (2006) kiteyttävät, että keskeisimmät ajurit ja syyt ekodesignin täytäntöönpanoon ja ekotyökalujen hyödyntämiseen elektroniikkateollisuuden pk-yrityksissä ovat 1) kilpailija-analyysi, 2) vihreän aatteen leviäminen, 3) kustannustekijät, 4) uudet markkinat, 5) brändin kehittäminen, 6) palvelukeskeisyyden lisääntyminen tai 7) lakivelvoitteet. Nämä kohdat esiintyvät monissa artikkeleissa ja niitä voidaanakin pitää melko yleispätevinä eikä rajoittuen vain elektroniikkateollisuuden tuotteisiin. Azapagic (1999, p.4) lisää listaan elinkaarianalyysin tarjoamista hyödyistä vielä 8) prosessien optimoinnin, 9) oman tuotteen paremman tuntemisen ja 10) toimittajien arvioinnin. Laurin et al. (2006, p.7) ovat ajatelleet asian hieman toiselta kantilta ja mainitsevat motivaatiotekijäksi vielä yhden seikan eli 11) toimittajien osallistamisen eli yhteistyön syventämisen kommunikaatiota parantamalla jaetun tuoteinformaation merkeissä. Listan päätteeksi Baumann et al. (2012) mainitsevat 12) ympäristöasioiden strategisen suunnittelun.

Kilpailija-analyysi, joka yleisesti tunnetaan englanninkielisellä nimellä *benchmarking*, viittaa siis oman tuotteen vertaamista kilpailevan yrityksen tai yritysten vastaaviin tai samankaltaisiin tuotteisiin (Laurin et al. 2006, p.7). Oman tuotteen ympäristöprofiiliin kartoittaminen LCA-analyysin avulla mahdollistaa tuotteen vertailemisen kilpailijoiden tuotteisiin. Myös Prendeville et al. (2011) korostavat elinkaariarvioinnin ideaalista soveltuvuutta kilpailijoiden toimien ja oman toiminnan vertailussa. Kuitenkin on otettava huomioon, että tiedon saatavuus on usein kilpailija-analyysia rajoittava tekijä. Yleensä käytetyt teknologiat ja tuotetieto ovat tuotekehitysvaiheessa tarkoin varjeltua tietoa, ja jota myöhemmin pyritään varjelemaan esimerkiksi erilaisin patentein. Silti esimerkiksi tuotteiden purkuanalyysiä hyödynnetään kilpailevien tarjoomien arvioinnissa. Purkuanalyysin tarkoituksena on saada käsitys markkinoilla olevien tuotteiden tasosta sekä tuottaa uusia innovaatioita parantaa oman tuotteen toiminnallisuuksia. (Schischke et al. 2006)

Kustannustehokkuus ja kustannussäästöt ovat keskeisiä termejä etenkin pienemmille yrityksille, joissa käytettävissä olevat resurssit ja usein laajempi kilpailijakunta asettavat paineita kannattavalle yritystoiminnalle. Ympäristöystävällistä tuottamista ja elinkaari-

riarvioinnin hyödyntämistä toiminnan ja tuotteiden arvioinnissa on saatettu väheksyä, mutta niiden avulla esimerkiksi tuotteessa käytettyjen komponenttien määrää voidaan parhaassa tapauksessa saada vähennettyä ja siten myös käytettyjen materiaalien määrää optimoitua. Lisäksi tuotantoprosessien systemaattinen kehittäminen toiminnan tehostamiseksi voi tuoda lisää kustannussäästöjä. Kustannussäästöt liittyvät oleellisesti myös innovaatioisykleihin. Otto et al. (2005) mukaan on epätyypillistä, että pk-yritykset kehittäisivät suoraan ekoinnovaatioita, koska niiden kehittäminen voi pienelle yritykselle tulla liian kalliiksi. Se ei kuitenkaan estä yritystä pyrkimästä vihreämpiin tuotteisiin. Pk-yrityksiltä puuttuu laaja tuoteportfolio. Niille on loogisempaan kehittää teknologiakehityksen mukaisesti ympäristöystävällisiä tuoteominaisuuksia osana normaalia tuotteen paranteluprosessia eikä kehittää täysin uudenlaisia tuotteita.

Yrityskuva on oleellinen osa kilpailukykyä. Vastuullinen yrityskuva voi esimerkiksi tarjouskilpailussa olla ratkaiseva tekijä, kun tehdään valintaa kahden toimittajan välillä, joiden tuotteet ovat täsmälleen samankaltaisia. Ympäristöystävällisen brändin rakentaminen on panostamista omaan kilpailukykyyn, sillä toimialan sisällä ekologisuus ja ympäristömyönteisyys ovat osa kasvavaa trendiä. Piittaamattomuus tällä saralla voi pian olla brändiarvoa vahvasti heikentävä seikka ja negatiivisesta yrityskuvasta on vaikeaa päästä eroon. Myös profiloituminen ympäristöystävälliseksi ja vastuulliseksi toimijaksi voi poikia uusia markkinoita myös pienemmistä *niche* markkinasegmenteistä, joissa vaatimukset ovat erilaiset verrattuna massamarkkinoihin. (Baumann et al. 2012)

#### 4.4 Kuluttajien merkitys ympäristön huomioimisessa

Lakivelvoitteiden ohella kuluttajien käyttäytyminen on yksi suurimmista tekijöistä, jotka ohjaavat tuottajien toimintaa. Tämä on yleinen piirre eikä sidottu tiettyyn toimialaan, mutta pätee erittäin hyvin myös elektroniikkateollisuudessa. Kuluttajien näkökulmasta ympäristövaikuttaminen jakaantuu kahteen eri osaan: tuotevalintoihin ja tuotteiden hävittämiseen. Kuluttajien valintoja voidaan ohjata erilaisin ympäristömerkinnöin ja siten edistää ympäristöystävällisten tuotteiden kuluttamista. Tällä hetkellä tuotemerkinnot ja sertifikaatit liittyvät pääosin energiankulutukseen ja materiaaleihin. Ongelmana on, että sertifikaatit eivät takaa ylivoimaisesti ympäristöystävällisiä tuotteita. St-Laurent et al. (2012) korostavat, että ainoastaan sertifikaattien ja merkintöjen kriteerien jatkuvalla päivittämisellä voidaan nopeasti kehittyviä tuotteita pitää aidosti ympäristöystävällisempinä vaihtoehtoina. Lisäksi artikkelissa korostetaan, että tuotesertifikaattien ja -merkintöjen vaatimuskriteereistä päättävien tahojen tulisi keskittyä kohdentamaan vaatimukset niin, että ympäristötoimenpiteet kohdistuisivat enemmän tuotteiden valmistuksen aikaisten haittojen pienentämiseen tai erilaisien keinojen käyttöön, joilla tuotteiden elinikää saadaan pidennettyä.

Kuluttajien vaikutusvalta tuotteiden oikeanlaiseen kierrättämiseen on myös suuri. Vaikka laissa on velvoitteet tuottajalle laitteiden oikeaoppiseen hävittämiseen, eivät laitteet päädy kierrätykseen ilman kuluttajien oikeaoppista käyttäytymistä. Jotta vaaralliset ai-

neet, joita etenkin vanhat elektroniikkalaitteet edelleen sisältävät, saadaan kerättyä pois, on kuluttajia kannustettava oikeaoppiseen kierrättämiseen esimerkiksi tarjoamalla jonkinlaista hyötyä vanhan laitteen palauttajalle.

Luttrupp & Lagerstedt (2006) pohtivat artikkelissaan ympäristömyönteisten tuotteiden ja kuluttajien suhdetta toisiinsa hieman toisesta näkökulmasta. Yleisesti on tiedossa, että asiakasvaatimukset ja niiden huomioiminen ja toteuttaminen usein ohjaavat tuotekehitystä laajempien markkinoiden toivossa. Tilanne ei ole niinkään se, etteivätkö asiakkaat tahtoisi ostaa ympäristömyönteisiä tuotteita, mutta tuotteen ympäristömyönteisyys ei saa tulla kohtuuttoman kalliiksi verrattuina muihin vastaaviin tuotteisiin. Jotta ympäristönäkökulmat voitaisiin ottaa paremmin huomioon menettämättä potentiaalisia asiakkaita, tulee tuotekehityksen olla astetta innovatiivisempaa ja siirtyä päämäärästä vain täyttää asiakasvaatimukset päämäärään tuottaa uusia tarpeita. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tuotesuunnittelijan pyrkimys on täyttää asiakkaan vaatimukset mahdollisimman pienillä ympäristökuormilla järkevään hintaan. Luttrupp & Lagerstedt (2006, s.1397) vertaavatkin tuotesuunnittelijan päätöksentekoa vaakakuppiin, jonka toisessa päässä ovat asiakkaan kokemat hyödyt ja toisessa asiakkaan vaatimien tuoteominaisuuksia ympäristövaikutukset.

#### **4.5 Ympäristöjohtamisen nykytila pk-yrityksissä**

Toimialalle on tyypillistä, että tuotteiden elinkaaret ovat lyhyitä: uusien laitteiden kehityksen tulee pystyä vastaamaan markkinoilla olevien kilpailijoiden toimintaan sekä asiakkaiden asettamiin aikataulullisiin vaatimuksiin pysyäkseen kilpailukykyisenä nopeissa kehityssykleissä. Tämä elektroniikkateollisuuden ominaispiirre asettaa siis eritoten paineen tuotesuunnitteluprosessin alkupäähän, jossa tuotteeseen liittyvä päätöksentekoprosessi ei saa kestää liian kauan (Camp & Khalifa 2011).

Pk-yrityksille on yleistä, että toimintatapoja aletaan muokata ympäristömyönteisimmiksi vasta silloin, kun epäkohtia omassa toiminnassa tai tuotteessa löydetään niin sanotusti sattumalta. Systemaattisen ympäristöjohtamisen, kuten erilaisten ympäristötyökalujen, käyttäminen on harvinaisempaa. (Schischke et al. 2006) Pienemmät yritykset muuttavat toimintaansa yleisimmin vain tilanteissa, joissa joko 1) laki, 2) emoyhtiö tai asiakas niin vaatii tai 3) toimintojen muuttamisessa on nähtävissä selkeitä taloudellisia hyötyjä omaan liiketoiminnan kannalta (Otto et al. 2005). Tämä käytös selittyy pääosin sillä tekijällä, että ympäristötoiminnot vaativat pk-yrityksissä resursseja, jotka ovat jo valmiiksi rajallisia. Myös sidosryhmien asettamat vaatimukset ympäristökommunikaatiosta on tärkeä syy tehostaa toimintaa (Jansen & Vercalsteren 2001).

Euroopan komissiolle (Tukker et al. 2000) tehdyn selvityksen mukaan pk-yritykset eivät usko vahvasti siihen, että markkinoilla myyntiä kasvattaisi selkeästi tuotteen ekologisuus. Ympäristömyönteisyyttä ei nähdä avaintekijänä menestymiselle asiakasvetoisilla markkinoilla, eikä se siten lisää kannustimia panostaa ekoinnovaatioihin. Tuotetta ei siis

suunnitella korostetusti vain ekotuotteeksi vaan ympäristömyötäisyys on niin sanottu sivutuote (engl. *by-product*). Tuotteen ekologisuus voi olla johdannaista myös siitä syystä, että pyritään uusille markkinasegmenteille, joissa tuoteteiden ekovaatimukset ovat tiukemmat, ja niitä tulee noudattaa kilpailukyvyn säilyttämiseksi. (Schischke et al. 2006) Toisaalta Camp & Khalifa (2011) korostavat ympäristötietoisuuden leviämistä, joka omalta osaltaan luo painetta toiminnan katselmointiin ympäristöongelmien löytämiseksi.

Kuten myös (Jansen & Vercalsteren 2001) toteavat, kehittävät pk-yritykset toimintaansa vasta kun laki niin velvoittaa. Ympäristöystävällisyys nähdään pk-yritysten keskuudessa ylimääräisenä kustannuksena ja muutoksia toimintaan tehdään vasta lainsäädännön muuttuessa. Schischke et al. (2006) painottavat, että määrittelemällä toiminnan ympäristökuormitus lainsäädännön vaatimuksia tiukemmiksi, voi yritys paremmin ennakoida tulevia määräyksiä ja pystyä nopealla reagoinnilla vastaamaan uusiin lakeihin. Jos ennakointi puuttuu, voi eteen tulla tilanne, jossa tuotteet eivät enää täytä määräyksiä. Tämä voi olla suuri isku pienen yrityksen liiketoimintakumppaneille ja siten koko yrityksen liiketoiminnalle.

Pk-yritysten kohtaamat haasteet ja ongelmat ympäristöasioiden johtamisessa ovat suoraan verrannollisia yrityksen kokoon ja ulkopuolisen tuen määrään. Artikkeleissa on laajalti mainintoja (esimerkiksi Lindahl 1999) pk-yritysten kykenemättömyydestä selvittää aiheuttamaansa ympäristövaikutusta systemaattisin keinoin, sillä tarjolla olevat työkalut ovat joko vasta konseptiasteella ja/tai kohdistettu erikoisosaamista vaativaan asiantuntijakäyttöön. Lisäksi tulosten tulkintaan tarvitaan yksinkertaisia keinoja. Pk-yritysten yleisimpiin ongelmiin lukeutuu ympäristökommunikaatio eli se miten sidosryhmille kommunikoidaan yrityksen ympäristötaakkaa tai tehtyjä ympäristötoimia. Tuloksien analysoinnin ja niistä tehtävien johtopäätösten tulee olla helposti ymmärrettävissä ja sellaisessa muodossa, jotta tuloksia voidaan tarpeen mukaan esitellä myös sidosryhmille. Jos yritys ei itse edes ymmärrä analyysin tuloksia, ei tuloksia pystytä tehokkaasti jakamaan oleellisten tahojen kanssa. Tämä olisi erittäin oleellista pitkällä tähtäimellä. Jos tehtyjen muutosten aikaansaamia vaikutukset ei pystytä osoittamaan, jää yksi elinkaarianalyysin oleellisista ominaisuuksista tällöin saavuttamatta.

Yleisin syy ongelmiin, niin ekodesignin täytäntöönpanossa kuin hyötyjen saavuttamisessa ja tulosten tulkinnassa, liittyy asiantuntevan henkilöstön puutteeseen. Vaikka konseptina ekodesign olisikin pk-yrityksissä tunnettu, voi sen käyttöönotto tuntua erityisen haasteelliselta erityisosaamisen puuttuessa. Kirjallisuudessa on usein mainittu ongelmaksi se, että ekotyökalujen konseptit eivät tue käytännön tuotesuunnittelua ja teoreettisen mallin ja todellisuuden välillä vallitsee niin sanottu kielimuuri, jolloin työkalun hyöty jää helposti saavuttamatta. (Schischke et al. 2006) Lisäksi mallien konseptimainen muoto nostaa kynnystä aloittaa systemaattista toiminnan analysointia, sillä käytännön esimerkit puuttuvat. Tätä näkökulmaa tukee myös Jansen & Vercalsteren (2001) artik-

kelin näkökulma, joka korostaa esimerkkien puutteen johtavan epävarmuuteen ekodesignin täytäntöönpanossa.

Pk-yrityksillä on harvoin varattuna erillisiä resursseja, jotka ovat täysin varattu vain ympäristöasioiden johtamiseen. Tällöin esimerkiksi ympäristödirektiiveissä etenkin vapaaehtoisiksi luokiteltujen seikkojen selvittäminen jää toisarvoiseksi. Tyypillisesti käytettävissä olevat resurssit on kohdennettu liiketoiminnan ydintoimintojen ylläpitämiseen: yksittäiset henkilöt voivat jo valmiiksi olla vastuussa useammasta eri osakokonaisuudesta, eikä aikaa jää asiantuntemuksen lisäämiseen ympäristöasioissa. Tutkimuksissa on myös huomattu, että pk-yritysten keskuudessa ympäristödirektiivien sisältö tunnetaan huonosti. Tämä voi johtaa tuotteisiin, jotka eivät täytä lainsäädännön asettamia vaatimuksia. (Schischke et al. 2012)

Toisaalta positiivisessa mielessä pk-yritysten pieni koko on otollinen ympäristö muutoksien toteuttamiselle. Pienemmissä yrityksissä hierarkiaa ja byrokratiaa on oleellisesti vähemmän. Tällöin uusien muutosten suunnittelu ja niiden sulauttaminen osaksi yrityksen normaalia liiketoimintaa on helpommin toteutettavissa. Toteutuksen nopeutta edesauttaa pk-yrityksille tyypillinen matala organisaatiorakenne: kevyiden yritysraakenteiden ja ketterän kommunikaatioverkoston ansiosta myös pienten muutosten kokeileminen on helpompaa. Kokeilujen avulla voidaan kartoittaa optimaaliset ratkaisut, jotka sopivat juuri kyseisen yrityksen tarpeisiin (Van Hemel & Cramer 2002). Jansen & Vercalsteren (2001) mukaan pk-yritykset suosivat strategiaa, jossa ongelmia kartoitetaan aina vähän kerrallaan. Tätä strategiaa kutsutaan englanninkielisellä termillä ”*top-down strategy*” eli parannuskohtien selvittäminen aloitetaan hyvin yleiseltä tasolta ja yksityiskohtaisempaan analyysiin edetään ongelmakohtien tarkentuessa.

## 5. TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO

Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuusanalyysissä löydettyjen artikkelien käsittelemiä aihekokonaisuuksia kahdesta eri näkökulmasta ja havainnollistetaan tutkimustuloksia sopivin tekniikoin. Luvun alussa esitellään tarkemmin kirjallisuustutkielman analyysivaihetta sekä käytetty kirjallisuusaineisto. Tämän jälkeen esitellään artikkelien aihepiirien jakautuminen yleisellä tasolla ja luvun lopussa tarkennetaan analyysi käsittelemään kirjallisuustutkielman pohjalta löydettyjä toistuvia teemoja.

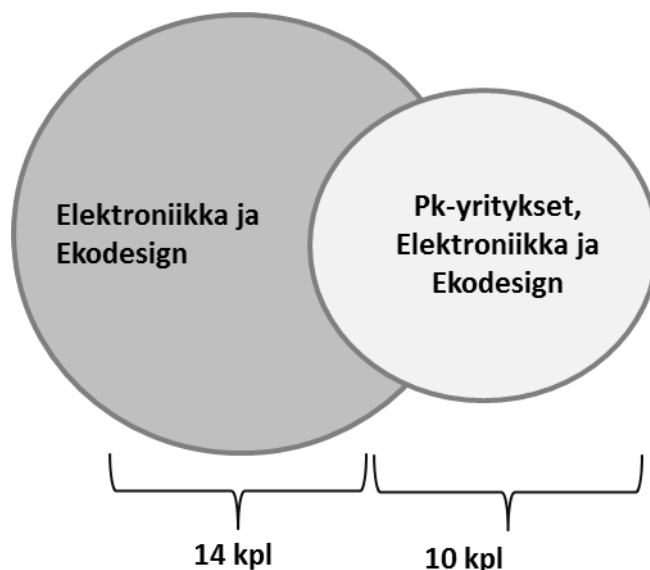
### 5.1 Kirjallisuustutkielman analyysivaiheen määrittely

Kirjallisuustutkielman tietokantahakujen avulla löydettyjen artikkelien sisältöä ja aihealueita on mahdollista analysoida monesta eri näkökulmasta. Tässä työssä on päädytty analysoimaan nykytutkimuksen tilaa tarkastelemalla artikkeleissa toistuvia teemoja kahden viitekehysten avulla. Esiin nousseiden teemojen perusteella on rakennettu nelikenttä, jonka avulla on mahdollista havainnollistaa tutkimusaineistoa yleisemmällä tasolla. Artikkeleissa on argumentoitu alan tutkimuksen teoreettisuutta, joten se on otettu myös tämän tutkielman yhdeksi tarkastelukohteeksi. Toinen viitekehys analysoi tarkemmin lähdeaineistossa esiintyviä pääteemoja ja niiden linkittymistä toisiinsa. Artikkeleiden pääteemoja ovat ympäristöjohtamisen toteuttamisen haasteet elektroniikkateollisuudessa sekä eritoten millaisia työkaluja pk-yritykset vaatisivat, jotta työkalujen käyttö jokapäiväisessä liiketoiminnassa olisi mahdollista.

Tutkimuksen artikkelihaku toteutettiin kirjallisuustutkielman periaatteen mukaisesti rajatuin hakusanoin ja artikkelihaussa käytetyt sanaparit on esitelty tarkemmin liitteessä 1. Akateemisia tutkimuksia, jotka kohdentuvat ainoastaan elektroniikkateollisuuden pk-yritysten ympäristötoimintoihin, on työssä käytettyjen hakuperusteiden perusteella löydettävissä vain muutamia. Nämä muodostavat tutkielman ydinartikkelit, mutta niiden niukkuuden vuoksi aihepiirin syvempää analyysiä vahvistamaan on otettu mukaan artikkeleita hieman yleisemmältä tasolta. Kuva 5.1 havainnollistaa käytetyn tutkimusaineiston kokonaisuutta. Ydinartikkeleita, joiden aihepiiri käsittelee elektroniikkateollisuuden pk-yritysten ympäristöjohtamista, löytyi yhteensä kymmenen kappaletta. Ydinartikkeleita täydentävä kokonaisuus sisältää artikkeleita elektroniikkateollisuuden ja ekodesignin keskinäisestä suhteesta ja siihen liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista. Tutkimusaineiston analyysi on aloitettu ydinartikkelin pohjalta, mutta niiden teemojen on huomattu toistuvan myös aihepiiriä tukevassa aihekokonaisuudessa. Tästä syystä tukevien artikkeleiden mukaan ottaminen on järkevää, sillä ne tuovat laajempaa näkö-



kulmaa kirjallisuustutkielman ydinsanomalle ja luovat vankemman pohjan tutkielmasta saataville johtopäätöksille.

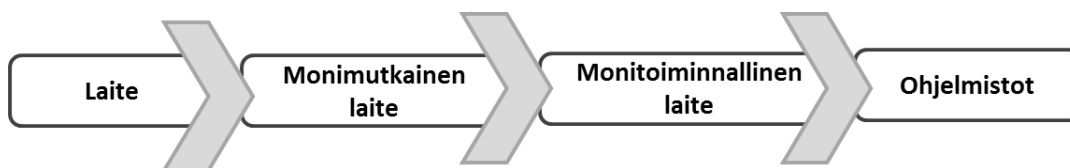


**Kuva 5.1** Diplomityön tutkimusaineistona käytettyjen artikkelien lukumäärät sekä niiden jakautuminen aihepiireittäin.

Analyysin ajankohtaisuuden arvioimiseksi on tärkeää kiinnittää huomiota myös tutkimusaineistoon sisällytettyjen artikkelien julkaisuajankohtaan. Diplomityön aihepiiri on luonteeltaan sellainen, että vaikka ympäristöjohtamisen peruseriaatteen säilyvät verrattain muuttumattomina, on aihealue jatkuvan kehityksen alla esimerkiksi lainsäädännön tai teknologiakehityksen vuoksi. Aihepiirin jatkuvan muutoksen vuoksi julkaisuvuosi on otettava huomioon, sillä työn päätavoitteena on tutkia ympäristöjohtamisen nykytilaa.

Tarkasteltaessa kirjallisuustutkielmaan sisällytetyjä artikkeleita kronologisesti julkaisuajankohdan mukaan, voidaan selkeästi havaita tutkimuksen kehityskulku. Kaikkein varhaisimmat tutkimukset 90-luvun alkupuolelta elektroniikkaan ja ekodesigniin liittyen keskittyvät tarkastelemaan ympäristönäkökulmia laitekohtaisten ominaisuuksien näkökulmasta. Tällöin LCA-työkalun käyttöä käsiteltiin melko optimistisena vaihtoehtona ympäristövaikutusten arvioinnissa, eikä sen soveltumattomuutta pk-yrityksille juurikaan kritisoitu. Seuraavien tutkimusten aiheet kohdistuivat vähitellen monimutkaisiin laitteisiin ja tutkimuksissa keskityttiin analysoimaan ongelmia, joita juuri elektroniikkateollisuuden tuotteiden elinkaariarvioinnissa ilmeni. Tuoreimmissa eli 2010-luvun artikkeleissa tutkimuskohde on laajentunut teknologisesti monimutkaisempien laitteiden ohella käsittämään myös rinnakkaisteknologioiden tuomat lisävaikutukset ydintuotteen ympäristövaikutuksiin. Tämän lisäksi artikkeleissa käsitellään kasvavassa määrin käyttäjän roolia ja tämän tekemiä valintoja yhtenä merkittävimmistä tekijöistä ympäristökuorman kannalta. Myös ohjelmistojen vaikutus laitteiden tehokkuuteen, virran kulutukseen sekä

käyttöikään on alettu ottaa huomioon. Kuva 5.2 mallintaa artikkeleiden tutkimuskohteiden ajallista kehittymistä karkealla tasolla.



**Kuva 5.2** Kirjallisuustutkielman artikkeleissa esiintyvät tutkimuskohteet ja niiden kehittyminen ajan myötä.

## 5.2 Artikkelien käsittelemät teemat yleisellä tasolla

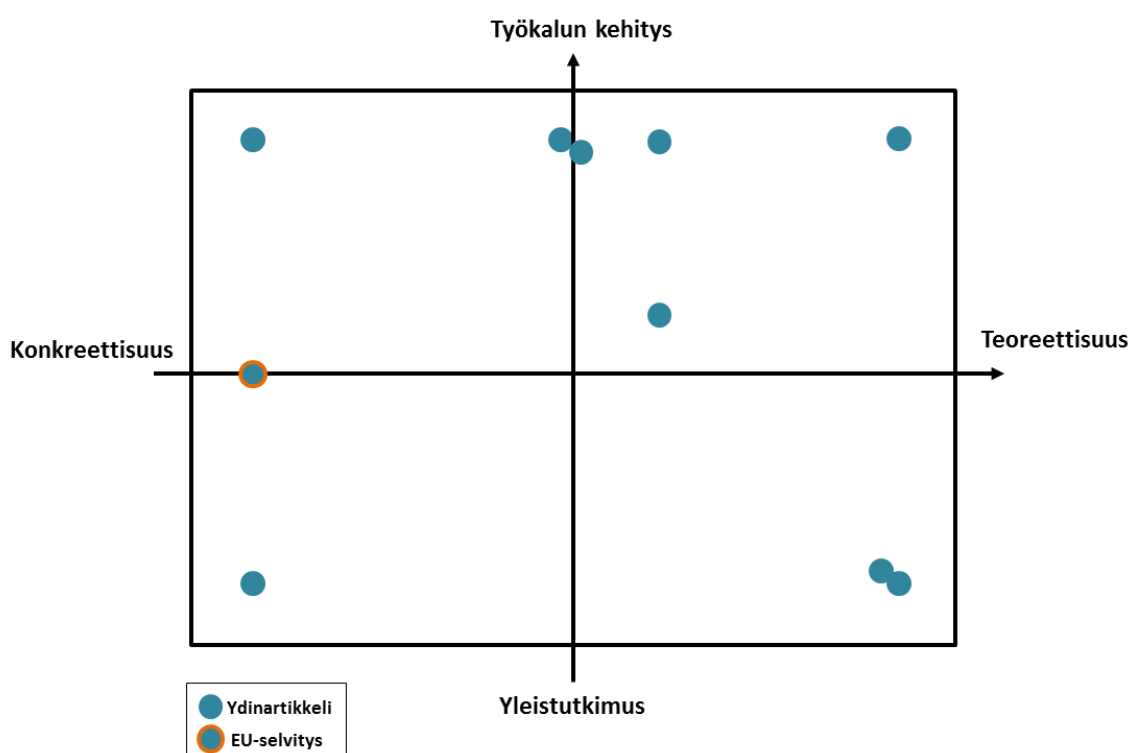
Artikkeleissa korostetaan elinkaarianalyysin käytännön esimerkkien puuttumista ja sen aiheuttamia hankaluuksia etenkin pienille ja keskisuurille yrityksille. Voisi siis olettaa, että akateemisessa piirissä tämä tutkimuskysymys olisi nähty mielenkiintoiseksi tutkimuskohteeksi, mutta silti varsinaisia käytännön esimerkkejä on löydettävissä vähän juuri elektroniikkateollisuuden pk-yrityksille. Suoraan pk-yrityksiin kohdistuvat artikkelit keskittyvät tutkimaan joko ympäristöjohtamisen nykytilaa ja ongelmia tai kehittämään työkaluja juuri pieniä yrityksiä ajatellen. Näiden yksittäisten artikkelien lisäksi on yksi laajempi EU-tason tutkimus, jossa käsitellään pk-yritysten tietoisuutta ja ekodesignin täytäntöönpanoa, mutta myös työkalun kehitystä. Artikkelien teemojen pohjalta luotiin nelikenttä, jossa

- X-akseli kuvaa artikkelien teoreettista tasoa. Sijoittuminen akselille riippuu käytännön esimerkkien ja tarkkojen tulosten määrästä ja laadusta. Keskelle teoreettista akselia sijoittuvat artikkelit, joiden tutkimus on teoreettisella pohjalla, mutta joiden tuloksia on sovellettu myös käytännön tasolla.
- Y-akseli kuvaa artikkelien tutkimuksen aihepiiriä. Artikkelit ovat keskittyneet käsittelemään joko LCA-työkalun kehittämistä tai ovat yleistutkimuksia ympäristöjohtamiseen liittyen. Keskelle aihepiiri-akselia sijoittuvat artikkelit, joissa yleisen tason ympäristöjohtamistutkimuksella tuetaan LCA-työkalun kehittämistä, mutta joiden pääfokus on yleisen tason tutkimuksessa.

Ydinartikkelit on sijoitettu tutkimusteemojen perusteella kirjallisuusaineiston analyysiin kehitettyyn nelikenttään. Taulukko 1 havainnollistaa tätä sijoittumista aluksi pelkästään ydinartikkelin pohjalta. Todellisten hyötyjen kannalta analysoituna, pk-yritysten kannalta ihanteellisimmat lohkot ovat kuvassa vasemmalla, eli akseliparien mukaan *konkreettinen LCA-työkalun kehittäminen* sekä *konkreettinen ympäristöjohtamisen tutkimus*. Konkreettisten esteiden tutkiminen ja ratkaisuvaihtoehtojen kehittäminen olisi tehokkain tapa edistää pk-yritysten ympäristöjohtamisen toimia. Kuvasta voidaan kuitenkin nähdä, että ihanteellisella alueella on ainoastaan muutama tutkimus, joista merkittävin pk-yrityksien ympäristötoimintaan ja sen parantamiseen keskittyvä tutkimus on EU-

tason tutkimus. Osa artikkeleista sijoittuu teoreettisuusasteesta kertovalle akselille konkreettisuuden ja teoreettisuuden välimaastoon. Näissä tutkimuksissa tutkimus on viety hieman pidemmälle, muttei niissä kuitenkaan anneta selkeitä käytännön ohjeita. Julkaisu-  
sujen joukosta löytyy tutkimuksia, joissa on yritetty kehittää työkaluja pk-yritysten tarpeita ajatellen. Nämä tutkimukset ovat kuitenkin kohdanneet esteitä, joiden vuoksi työkalun lopullinen viimeistely on jäänyt tekemättä. Nelikentän alaosaan sijoittuu vain muutama tutkimus. Näissä tutkimuksissa tutkimuskohteena on pienempien yritysten ongelmien kartoitus yleisellä tasolla elektroniikkateollisuuden pienyritysten näkökulmasta.

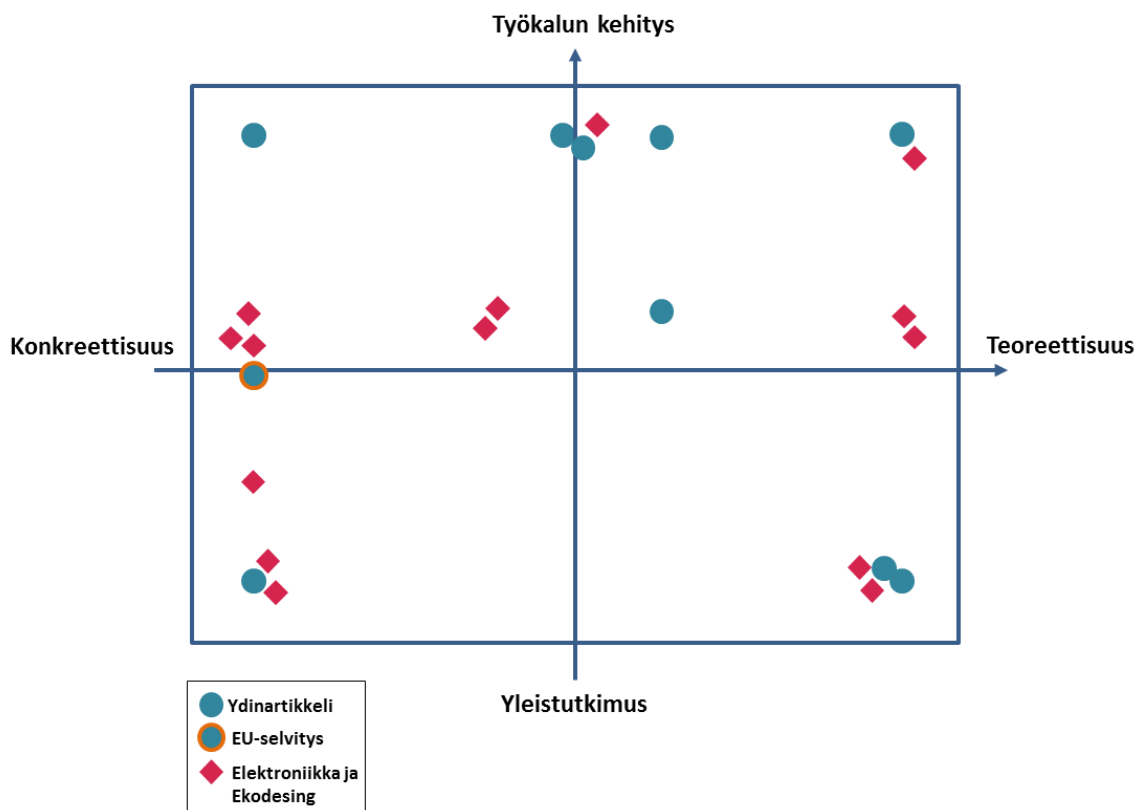
**Taulukko 1** Ydinartikkelien sijoittuminen nelikenttään, joka kuvaa tutkimusaineiston teemoja.



Analyysia on syvennetty tuomalla mukaan myös yleisen tason tutkimusartikkelit, eli tutkimukset, joissa käsitellään ekodesignia elektroniikkateollisuudessa. Artikkelit on sijoitettu ydinartikkelien kanssa samaan kuvaajaan (Taulukko 2), ja ne on merkitty eri värillä ja muodolla, jotta ne erottuvat ydinartikkeleista. Kuten ydinartikkelien kohdalla myös yleistutkimuksen fokus on pirstoutunut pitkin nelikenttää, mutta tiettyjä kohdentumia on havaittavissa. Tarkasteltaessa artikkeleiden sijoittumista x- eli vaaka-akselin suhteen, voidaan havaita, että artikkelit jakautuivat melkein puoliksi teoreettisiin julkaisuihin ja käytännöllisiä esimerkkejä antaviin artikkeleihin. Konkreettisia eli tarkempia tuloksia antavia artikkeleita oli kuitenkin suhteessa hieman enemmän (8:6) ja oleellisesti enemmän verrattuna tutkielman ydinartikkeleiden määrään tässä nelikentän osassa. Tarkasteltaessa artikkelien sijoittumista y-akselin suuntaan, voidaan kaavioista nähdä selkeää keskittymistä akselin ääripäiden välimaastoon. Tämä kertoo siitä, että näissä

artikkeleissa keskityttiin LCA-analyysin suorittamiseen liittyvien aiheiden tarkasteluun. Nämä artikkelit esittelivät vaihtoehtoisia keinoja toteuttaa ympäristöarviointia ja vertailivat tuloksia standardinmukaiseen elinkaariarvioon. Tämän ohella löytyi tutkimuksia, joissa keskityttiin tarkastelemaan vaihtoehtoja kokonaisvaltaisen elinkaariarvion helpottamiseen analyysia yksinkertaistamalla. Artikkelien jakaminen nelikentän eri osiin on tarkemmin määritelty liitteessä 2.

**Taulukko 2** Ydinartikkelien ja yleisen tutkimuksen sijoittuminen nelikenttään, joka kuvaa tutkimusaineiston teemoja.



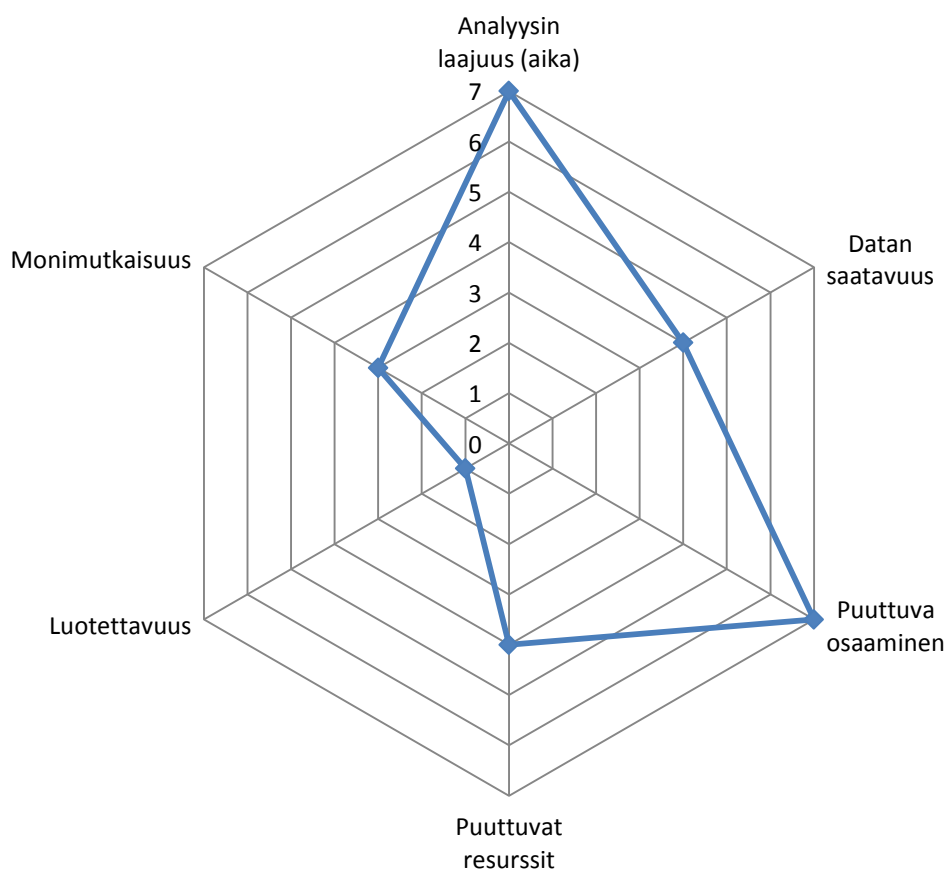
## 5.3 Ympäristötyökalun kehittäminen elinkaarianalyysin ongelmien perusteella

### 5.3.1 Elinkaarianalyysin ongelmat ja työkalun vaatimukset

Kirjallisuustutkimuksessa käytettyjen artikkelien perusteella identifioitiin suurimmat esteet sille, että elinkaariajattelu olisi mahdollista ottaa käyttöön pk-yrityksien tasolla. Tutkimuksista nousi esiin kuusi keskeisintä teemaa, jotka artikkelien mukaan ovat suurimmat esteet ympäristöjohtamisen integroimisessa päivittäisiin yritystoimintoihin. Analyysissä löytyneet esteet ovat 1) elinkaarianalyysin laajuus, 2) analyysin kannalta oleellisen tiedon saatavuus, 3) puuttuva osaaminen, 4) puuttuvat resurssit, 5) analyysistä saatavien tulosten luotettavuus ja 6) analyysin toteuttamisen monimutkaisuus. Nämä kirjallisuudessa käsitellyt esteet ovat mainintojen lukumäärän perusteella järjestetty

kaavioon, josta voidaan selkeästi nähdä mainintojen yleisyys tutkimusaineistossa. Taulukko 3 kuvaa kirjallisuudessa mainittuja suurimpia esteitä ja niiden keräämien mainintojen jakautumista estekohtaisesti. Eniten mainintoja suurimmaksi esteeksi elinkaariarvioinnin täytäntöönpanossa kerää analyysin toteuttamiseen vaadittava laajuus ajallisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Toinen kirjallisuudessa yhtä paljon mainintoja kerännyt este liittyy pk-yritysten puuttuvaan osaamiseen ja tietotaitoon ympäristöasioiden johtamisessa. Kolmanneksi ja neljänneksi eniten mainintoja suurimmaksi esteeksi keräävät puuttuvat resurssit hoitaa ylimääräisiä tai ylimääräiseksi koettuja tehtäviä normaalin yritystoiminnan lisäksi sekä analyysiin vaadittavan tuotetiedon saatavuusongelmat. Viidenneksi suurimmaksi esteeksi koetaan elinkaarianalyysin monimutkaisuus ja kuudenneksi on mainittu luotettavuuskysymykset.

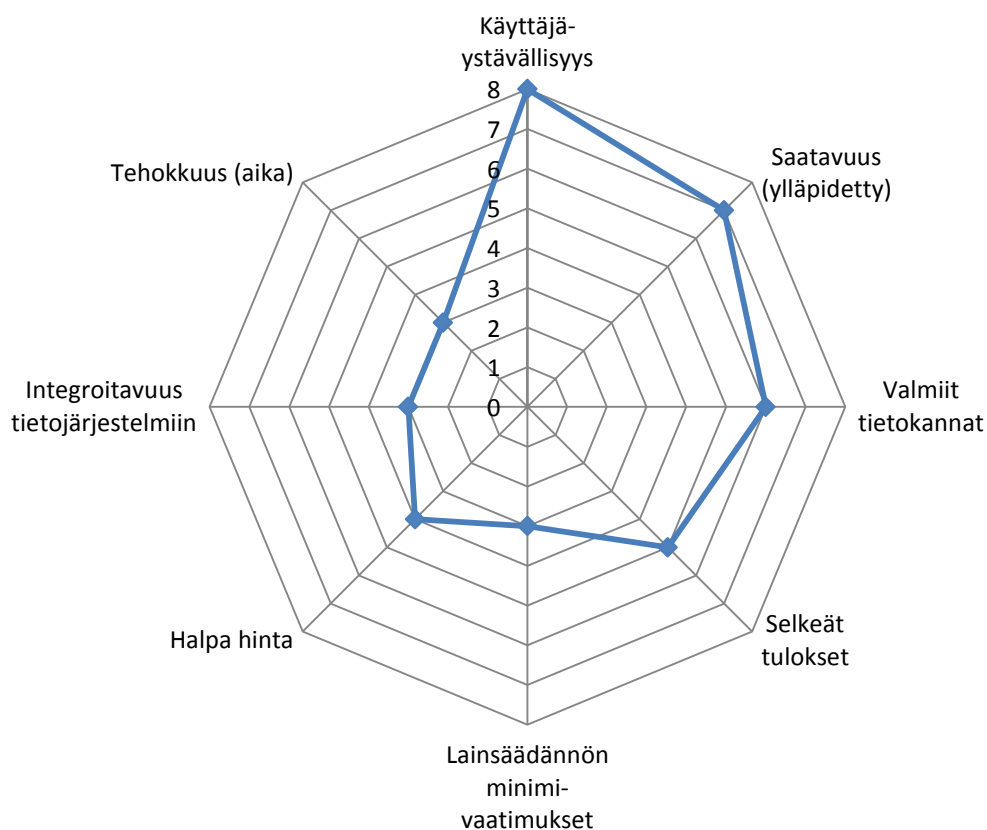
**Taulukko 3** Tekijät, jotka mainitaan kirjallisuudessa merkittävimiksi esteiksi ekodesigntyökalujen käyttämiseen pk-yrityksissä.



Toinen tutkielman aineistossa esiinnoussut pääteema, kuten aiemmin tässä luvussa on jo mainittu, on keskittynyt nimenomaan LCA-työkalun kehittämiseen pyrkimyksenä huomioida pk-yritysten tarpeet ja rajoitteet. Kehittäminen näissä artikkeleissa on tavallisesti ollut hyvin yleisellä työkalun ominaisuuksia määrittelevällä tasolla, mutta löytyy myös tutkimuksia kehitysprojekteista, joissa työkalun kehittäminen on päässyt jo beta-vaiheeseen. Yhteistä kaikille näille tutkimuksille on pk-yritysten kannalta oleellisten

LCA-työkalun ominaisuuksien analysointi ja listaaminen. Tämä muodostaa tutkielman analyysin toisen ulottuvuuden eli ympäristötyökalujen ihanteellisten ominaisuuksien määrittelyn pk-yritysten näkökulmasta. Taulukkoon 4 on kerätty ne ominaisuudet, jotka nousivat selkeästi esille tutkielman artikkeleissa. Kuten esteiden tapauksessa, nämä työkaluille asetetut vaatimukset on järjestetty kaavioon kirjallisuusmainintojen lukumäärin mukaisesti. Esiin nousevia ominaisuuksia ovat: 1) käyttäjäystävällisyys, 2) saatavuus, 3) valmiit tietokannat, 4) selkeät tulokset, 5) lainsäädännön minimivaatimukset, 6) halpa hinta, 7) integroitavuus tietojärjestelmiin ja 8) tehokkuus.

**Taulukko 4** Tekijät, jotka mainitaan kirjallisuudessa tärkeimmiksi ympäristötyökalun ominaisuuksiksi pk-yrityksen näkökulmasta.



Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi nousevat työkalun käyttöön liittyvät seikat ja etenkin helppokäyttöisyys. Tämän jälkeen tärkeimpänä tekijänä on työkalun saatavuus, joka tarkoittaa online-ympäristöä ja samalla myös sitä, että joku toinen osapuoli huolehtii työkalun ylläpidosta. Kolmanneksi tärkein ominaisuus liittyy datankäyttöön ja datan saatavuuteen. Käytännössä tämä tarkoittaa työkalussa valmiiksi olevia tietokantoja esimerkiksi materiaalidatan keräämisen helpottamiseksi. Valmistietokantojen jälkeen vaatimuksena on, että työkalusta saadaan analyysin lopussa koostettua selkeitä lopputuloksia. Tärkeää on, että tulokset annetaan tarpeeksi ymmärrettävässä muodossa, eikä syvää asiantuntemusta tulosten lukuun tai analysointiin tarvita. Jo mainittujen ominaisuuksien

ohella, kuuluu tärkeisiin ominaisuuksiin oleellisesti myös työkalun edullinen hinta. Tärkeäksi koetaan myös se, että työkalu pohjautuu ajan tasalla olevaan ympäristölainsäädäntöön ja sisältää tiedot lainsäädännön minimivaatimuksista. Lisäksi tärkeiksi ominaisuuksiksi on mainittu integroitavuus yrityksen omiin tietojärjestelmiin ja se, että työkalun käyttäminen on ajallisesti tehokasta eikä käyttö vaadi useiden aikaakuluttavia työvaiheiden läpikäyntiä.

### **5.3.2 Työkalun ominaisuuksien määrittäminen elinkaarianalyysin ongelmien pohjalta**

Edellisessä kappaleessa esitetyt esteet sekä ympäristötyökalun tärkeimmät ominaisuudet yhdistämällä voidaan tarkastella teemojen linkittymistä keskenään. Tutkimalla yleisimpiä esteitä ja toisaalta tutkimuksissa mainittuja ihanteellisen työkalun ominaisuuksia, on mahdollista nähdä onko jokin esteeksi koettu aihealue jäänyt työkaluja kehitettäessä vähemmälle huomiolle ja olla suurena ongelmana pk-yritysten ympäristötyökalujen käyttämiselle. Käytännössä, kun kirjallisuudessa käsitellään aiheita elinkaariajattelu ja elinkaarenhallinta, viitataan tällöin systemaattiseen ympäristöriskien kartoittamiseen, jonka arviointiin käytetään ISO-standardin mukaista tai mukailevaa LCA-työkalua. Toisin sanoen, artikkelit, jotka käsittelevät teoreettisella tasolla pk-yritysten ympäristöjohtamisen esteitä, keskittyvät luettelemaan esteitä nimenomaan liittyen LCA-työkalun käyttämiseen. Tämän oletuksen myötä voidaan artikkeleissa esiinnoitettuja esteitä ja toisaalta ihanteellisen työkalun ominaisuuksia tarkastella ongelmanratkaisun kautta: on mahdollista tarkastella, että mitkä kirjallisuudesta löydetyistä suurimmista esteistä on otettu huomioon ympäristötyökalun ominaisuuksia käsittelevissä artikkeleissa.

Tämä tarkastelu tehdään edellisessä luvussa mainittujen esteiden ja työkalun ihanteellisten ominaisuuksien yhdistämisellä eli analysoidaan aihepiireittäin sitä, mikä työkalun ominaisuus voisi vastata mitään kirjallisuudessa mainittua estettä. Tämän jälkeen tarkastelun pohjalta voidaan antaa suoria suosituksia työkalun kehittämiseksi niiden ominaisuuksien kannalta, joita ei analyysiin mukaan ole tarpeeksi kehittämistyössä huomioitu. Esteet ja ominaisuudet kokoava analyysi on koottuna taulukossa 5. Taulukon perusteella voidaan nähdä ensiksi se, että missä määrin mainintojen lukumäärät kirjallisuudessa esteiden ja työkalun ominaisuuksien saralla kohtaavat sekä yhteisen aihealueen, jonka alle tiedot on lajiteltuna. Mainintojen lukumääristä ja niiden vastaavuuksista sarakkeittain ei tietenkään voida suoraan päätellä mitään tarkkaa, mutta niiden perusteella on mahdollista saada suuntaviivoja siitä, miten kyseiseen esteeseen on työkalua suunniteltaessa keskitytty. Taulukon mukaisesti yhteisiksi aihekokonaisuuksiksi esteiden ja ihanteellisten työkaluominaisuuksien näkökulmasta määntyivät 1) aika, 2) osaaminen, 3) data, 4) resurssit, 5) hyöty ja 6) tuki.

**Taulukko 5** Kirjallisuudessa mainittujen esteiden ja työkalun ominaisuuksien yhdistäminen yhteisten kokonaisuuksien alle.

Esteet (lkm)	Työkalun ominaisuudet (lkm)	Kokonaisuus
Analyysin laajuus (7)	Tehokkuus (3)	Aika
Puuttuva osaaminen (7)	Käyttäjystävällisyys (8) Lainsäädännön minimivaatimukset (3)	Osaaminen
Datan saatavuus (4)	Valmiit tietokannat (6) Integroitavuus tietojärjestelmiin (3)	Data
Puuttuvat resurssit (4)	Halpa hinta (4)	Resurssit
Monimutkaisuus (3)	Selkeät tulokset (5)	Hyöty
Luotettavuus (1)	Saatavuus (7)	Tuki

### *Aika*

Yritysten liiketoiminnan kannalta aika on keskeinen käsite, sillä se on yksi merkittävimmistä tekijöistä rajaamaan yrityksen toimintoja, ja sitä mihin yritys käyttää resurssejaan. Yritysjohdon keskeinen tehtävä on siis toimintojen aikataulutus eli käytännössä käytettävissä olevien resurssien jakaminen niin, että tärkeimmät toiminnot liiketoiminnallisten tavoitteiden mukaisesti saadaan ajallaan tehtyä. Aika on toimintoja määrittävä suure riippumatta yrityksen kokoluokasta. Erityisen kriittinen tekijä se on silloin, jos toimiala on luonteeltaan nopeasyklinen eli kehitystä tapahtuu nopealla tahdilla ja toisekseen, jos yrityksen käytettävissä olevat resurssit ovat pienet (Baumann et al. 2012). Nämä molemmat tekijät realisoituvat elektroniikkateollisuuden pienempien toimijoiden normaalissa liiketoiminnassa. Tästä syystä kyseisen toimialan sisällä pk-yrityksien ajalliset paineet ovat erityisen kovat ja toimintojen ajallinen priorisointi ja siinä onnistuminen ovat erittäin tärkeitä kannattavan yritystoiminnan näkökulmasta.

Lyhyissä teknologian kehityssykleissä paljon aikaa vievän analyysin hyödyllisyys on kyseenalaista. Pk-yrityksissä analyysin ei välttämättä uskota tarjoavan mitään todellisesti oleellista tietoa ja sen ajatellaan olevan vain ajanhukkaa. (Otto et al. 2005) Baumann et al. (2012) painottavat, että pk-yritykset tarvitsevat kustannus- ja resurssitehokkaan



keinon ympäristökuormitusten hallitsemiseksi. Artikkelissa painotetaan, että pk-yrityksien tarpeita palvelisi työkalu, jonka avulla kohtuullisella vaivalla voidaan selvittää päätekijät, jotka aiheuttavat yrityksen toiminnassa suurimmat ympäristöhaitat tai joiden parantamisessa nähdään suurin potentiaali. Artikkelissa korostetaan sitä, ettei pk-yritysten kannalta ole niin tärkeää analysoida toimintaa liian syvällisellä metodilla, vaan rajallisten resurssien vuoksi tulisi keskittää huomio vain pääkohtiin ja suurimpiin ongelmiin ympäristön kannalta. Ajatusta tukevat myös Orgelet et al. (2012) artikkelissaan, jossa mainitaan, että analyysin tuloksista on tärkeää saada nopeasti tunnistettua osat alueet, joissa havaitaan suurimmat ympäristövaikuttajat. Suurempia suuntaviivoja tarkastelemalla taataan keskittymisen kohdistuminen ympäristön kannalta oleellisimpiin asioihin, joka on samalla myös ajankäytön kannalta järkevintä (Jansen & Vercalsteren 2001).

Ajan ja tehokkuuden arvioiminen työkalun ominaisuuksien kannalta kohdistuu muuttamaan oleelliseen pääseikkaan. Pk-yritysten kannalta on tärkeää, että työkaluun olisi suunniteltu mahdollisimman paljon käyttäjältä piilossa olevaa toiminnallisuutta, jolloin käyttäjän rooli analyysin suorittamisessa pienenee. Ihanteellista olisi, että käyttäjän tarvitsisi syöttää työkaluun mahdollisimman vähän tietoja ja ohjelma hoitaisi itsenäisesti taustalla tulosten laskennallisen osuuden. Tämä nostaisi työkalun tehokkuutta, eli sitä missä määrin aikaa ja resursseja sen käyttäminen vaatii verrattuna siitä saataviin hyötyihin. Mueller et al. (2004) ottavat kantaa elinkaarianalyysin tehokkuuteen kritisoiden sen käytettävyyttä juuri nopeiden innovaatiokeskustelujen tai tuotekehityksen päätöksenteon tukityökaluna. Artikkelissa nostetaan esille se, että analyysin suorittaminen on liian työlästä ja resurssi-intensiivistä, eikä se siten sovellu käytettäväksi tuotantoketjun alkupäässä. Myös Mueller et al. (2004) vahvistavat aiemmin esiteltyä konseptia siitä, että pk-yritysten käyttämänä työkalun tulisi olla raskaan elinkaariarvioinnin sijaan niin sanottu seulontakeino (engl. *screening method*). Jo edellä mainittujen artikkelien lisäksi myös Lindahl (1999) korostaa julkaisussaan vaatimusta siitä, että ympäristötyökalun käyttäminen on pk-yritysten kannalta tärkeintä tuotesuunnittelun alkuvaiheessa ja esimerkiksi eri alikokoonpanojen ympäristövaikutusten analysoiminen tulisi olla mahdollisimman helppoa ja ketterää. Artikkelissa nostetaan esille myös se, että elektroniikkateollisuuden pk-yritysten tuotesykli ovat luonteeltaan lyhyitä, joten mitä nopeampaa ympäristöarvioinnin tekeminen on, sitä nopeammin voidaan tuotekehityksessä edetä.

Artikkelien valossa elinkaarityökalun käyttämiseen kuluva aika ja siitä saatava hyöty tehokkuuden näkökulmasta on siis vahvasti riippuvainen siitä kuinka resurssi-intensiivistä sen käyttäminen on. Työkalun kehittämiseen keskittyneet artikkelit korostavat, että juuri pk-yritysten resursseja ja tarpeita ajatellen työkalun tulee antaa vain suurempia suuntaviivoja eli keskittyä paljastamaan tuotantoprosessin suurimmat ympäristökohdat. Yksinkertaistettu työkalu, jossa käyttäjältä vaaditaan mahdollisimman vähän kontribuutiota syötetietojen lisäämisessä, nähdään tuottavan tarpeeksi laadukasta tietoa pienempien yritysten ympäristöjohtamisen tarpeisiin. Tämä tarkoittaa käytännös-

sä sitä, että työkalu tarkastelee tuotetta vain ylemmillä tasoilla eikä syvällisemmin aina materiaalitasolle asti (tuotteen eri tasot tarkentaa Kuva 3.4). Vaikka aihetta ja sen tärkeyttä on käsitelty monissa eri artikkeleissa pk-yritysten suurimpana esteenä ympäristötyökalujen käyttämiselle, ei työkalujen ominaisuuksia käsittelevissä artikkeleissa ajalliseen tehokkuuteen oteta kantaa kuin melko teoreettisella tasolla.

### *Osaaminen*

Osaamista voidaan käsitellä kahdesta eri näkökulmasta: se on kykyä tehdä asioita onnistuneesti, mutta myös kykyä ymmärtää toinen ääripää eli se, mihin oma osaaminen loppuu. Pk-yritysten tilanteessa osaaminen ja tietotaito ympäristöasioissa ovat rajallisten resurssien vuoksi tyypillisesti vähäiset eikä yrityksellä ole varaa palkata ulkopuolista asiantuntijaa. (Jansen & Vercalsteren 2001) Osaamisen puute voi johtaa siihen, ettei omia ympäristövaikutuksia ole suuremmin otettu huomioon, sillä vaikutuksia ei ole osattu analysoida. Toisaalta, osaamisen puuttuessa on mahdollista, että ympäristövaikutusten analyysi tehdään väärin joko analyysin rajauksen tai sen aikana tehtyjen oletusten johdosta. Tällöin tuloksista tulee virheellisiä eikä todellisia hyötyjä saavuteta. Lisäksi analyysin tuloksia voidaan vaillinaisen osaamisen vuoksi tulkita väärin ja todelliset ongelmakohdat ympäristön kannalta jäävät huomaamatta. (Otto et al. 2005)

Pk-yritykset tuntevat omat tuotteensa ja tuotantoprosessinsa, eli mitä materiaaleja tai kemikaaleja on käytössä, mutta tyypillisesti ei tunneta ympäristöjohtamisen teoriaa. Nykytyökalujen ongelma pk-yritysten kannalta onkin se, että ne on suunniteltu asiantuntijakäyttöön: työkalujen käyttäminen vaatii alan termistön tuntemista ja tarkempaa ymmärtämistä. (Baumann et al. 2012) Etenkin pk-yritysten haastattelututkimuksien pohjalta kirjoitetuissa artikkeleissa mainitaan, että suurin ongelma ekostandardin täyttämiseen on niin sanottu kielimuuri (engl. *language gap*), joka estää akateemisen teorian integroimisen arkipäivän suunnittelu- ja liiketoimiin (Schischke et al. 2012). Vaikka tuloksena olisi mahdollista saada kattava raportti eri vaikutuksista yhdistettynä vaikutusta ilmentäviin indikaattoreihin, on tuloksien tulkitseminen ongelmallista tietopohjan ollessa suppea. Camp & Khalifa (2011) kiteyttävät saman ajatuksen, mutta toisin sanoin: tietotaidon ja osaamisen puuttuessa ei työkalusta saada todellista hyötyä irti. Artikkelin mukaan tämä on johtanut haluttomuuteen jatkaa työkalun käyttämistä, sillä hyötyjä ei pystytä tarpeeksi hyvin ymmärtämään. Työkalun käytettävyyteen liittyvä vaatimus onkin, että työkalun käyttäjällä on mahdollisimman vähän vastuusta. Ihanteellisessa työkalussa myös osaamisen kannalta käyttäjä vain syöttää työkaluun tuotteen ja prosessin tunnetut parametritiedot. Ohjelma prosessoi syötetyt parametritiedot ja hoitaa käyttäjän puolesta kriittisen analyysityön. (Schischke et al. 2012)

Käyttäjystävällisyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä käyttäjän kokemusta työkalun käyttöjärjestelmästä. Kuten aiemmassa kappaleessa alustettiin, tulee käyttöjärjestelmän olla sellainen, jossa käyttäjää ohjeistetaan ja tuetaan tarpeeksi eikä virhetulkintoihin ole mahdollisuutta. Käytännön esimerkki työkalun käyttäjää tukevasta toiminnasta annetaan

(Orgelet et al. 2012) kirjoittamassa artikkeleissa, jossa kuvaillaan pk-yrityksille suunnattujen työkalujen sisältävän alkuun käyttöä ohjaavia kysymyksiä. Näiden alustavien ja johdattelevien kysymysten avulla ohjelma suorittaa taustalla juuri asiakkaan tarpeisiin ja tuotteeseen perustuvia asetuksia. Tällaisilla asetuksilla tarkoitetaan esimerkiksi sitä mitä valmistietokantoja asiakkaan analyysiin tuodaan mukaan. Lisäksi kartoitetaan analyysillä tavoiteltavan lopputuloksen syvyyttä ja edelleen sitä, millä tasolla analyysiin tulee käyttäjän syöttää tarkempaa tuotetietoa (Jansen & Vercalsteren 2001). Ohjailevat kysymykset tavallaan hoitavat käyttäjän puolesta analyysin rajauksen ilman, että käyttäjän tarvitsee siihen erikseen kiinnittää huomiota. Kysymyksillä määritellään myös maantieteellinen sijainti, joka on oleellinen tieto esimerkiksi maakohtaisten energialähteiden ja niiden osuuksien laskemisessa, mutta myös vallitsevan lainsäädännön määrittämisessä. (Orgelet et al. 2012)

Suurimmassa osassa artikkeleita, jotka käsittelevät pk-yrityksille soveltuvia työkaluja tai esittelevät työkalun kehittämistä, pääpaino on nimenomaan työkalun helppokäyttöisyydessä. (Alonso et al. 2012; Camp & Khalifa 2011; Orgelet et al. 2012) Yksinkertaistettu lähestymistapa on mainittu jo ylemmällä tasolla käsiteltäessä yleisesti elektroniikkateollisuutta (Valkama & Keskinen 2008), ja sen merkitys vain korostuu tarkasteltaessa asiaa pk-yritysten näkökulmasta. Yksinkertaistettu ja helppokäyttöinen työkalu mainitaankin avaintekijäksi elinkaarityökalun käyttöönottoon pk-yrityksille (Nissen et al. 1997; Alonso et al. 2012) Ihanteellisessa tilanteessa työkalu on niin helppokäyttöinen, että kuka tahansa sen käyttäjistä osaa kirjata tarvittavat tiedot eikä järjestelmä vaadi erityisosaamista.

Oleellinen osaamiseen liittyvä työkalun vaatimus liittyy ympäristölainsäädännön minimivaatimuksien. Tarkemmin luvussa 2.2 esiteltujen ympäristölakien ja direktiivien noudattaminen on edellytys liiketoiminnalle. Lakiasioissa puutteellinen osaaminen ja tietämys voi pahimmillaan johtaa toimiluvan menettämiseen. Työkalun tulee siis olla ajan tasalla, niin siinä olevan tuotetiedon, mutta myös lainsäädännössä asetettujen vaatimusten kanssa. (Camp & Khalifa 2011) Tällöin pk-yritysten olisi yksinkertaisempaa hallita oman toiminnan vastaavuutta ympäristölakeihin, sillä yrityksen tuotteiden vastaavuutta säädöksiin pystyisi työkalun avulla helposti tarkastelemaan ilman erillistä selvitystyötä. Konkreettisena ratkaisuna ympäristödirektiivien seuraamiseksi annetaan kirjallisuudessa ehdotus siitä, että työkalu voisi antaa viitetietoina kunkin vaikutuskategorian tai indikaattorin takana olevan säännön sallituista rajoista esimerkiksi päästöjen tarkastelussa. Nämä viitearvot olisivat linjassa nykylainsäädännön kanssa. (Camp & Khalifa 2011) Myös Orgelet et al. (2012) korostavat lainsäädäntöä noudattavien viitearvojen lisäämistä työkaluun.

Esteitä ja työkalun ominaisuuksia analysoitaessa voidaan todeta, että suureksi esteeksi koettu osaamisen taso ympäristöasioissa, on työkalun ominaisuuksien suunnittelussa otettu kirjallisuusotannon perusteella melko kattavasti huomioon. Osaamisen ja tietotaidon puutteelle on annettu konkreettisia ratkaisukeinoja työkaluun integroitavin ominai-

suuksin, joiden tarkoitus on tukea käyttäjän vaillinaista tietoa ympäristökuormituksensa hallitsemisessa. Pääpaino ratkaisuehdotuksissa on käyttäjäystävällisyydessä ja käyttöliittymän helppokäyttöisyydessä ja siinä, että käyttäjän omaa asiantuntemusta hyödynnetään parhaan mukaan: käyttäjää ohjailevat kysymykset ja vastausten perusteella työkalun ohjautuvat tausta-asetukset koetaan ratkaisevasti helpottavan ympäristötyökalujen käyttämistä tarkemman tietotaidon puuttuessa.

### *Data*

Tiedonhankinta on elinkaarianalyysin suuritöisin osa. Tuotetiedon eli LCI-datan saatavuus on elinkaarianalyysin lähtökohta ja edellytys, sillä vain kattava tuotetiedon kerääminen onnistumisen. (Otto et al. 2005; Orgelet et al. 2012) Tuotetiedon keräämiseen liittyy kaksi haasteellista ulottuvuutta: tuotetiedon kerääminen toisilta osapuolilta ja tuotetiedon kerääminen tuotantoketjun alkupäässä tuotesuunnitteluvaiheessa.

Nykyhetken ongelman eli globaalien toimitusverkostojen vuoksi tuotetiedon kerääminen on täynnä haasteita, sillä toimitusketju on rakenteeltaan varsin verkottunut eikä verkon kaikkien osapuolien kanssa olla vuorovaikutussuhteessa. (Orgelet et al. 2012; Baumann et al. 2012) Ihanteellisessa tilanteessa tuotetiedon hankinta voidaan suorittaa systemaattisesti ja kaikki toimitusketjun toimijat huomioiden. Toisaalta elektroniikkateollisuuden pk-yritykset ovat tyypillisesti itse alemman tason toimittajia eikä heidän tarvitse huolehtia kuin oman tuotteen sisällyttämien osien tuntemisesta ja datankeruusta. Ylemmällä tasolla, tai kun toimijoita on oman yrityksen tuotteeseen liittyen useampia, tulisi materiaaalidatan saamiseksi panostaa toimitusketjun systemaattiseen hallintaan, jonka Schischke et al. (2012) mainitsevat olevan edelleen kehitysasteella.

Datan saatavuus tuotantoketjun alkupäässä on toinen keskeinen elinkaariarvion ongelma. Tuotekehitysvaiheessa ei elinkaariarviointiin vaadittavaa prosessitietoa ole vielä saatavilla, sillä uusia prosesseja ei ole tässä vaiheessa vielä määritetty. Tähän mainitaan ratkaisuna tutkielman laajuuteen sisällytetyssä artikkelissa moneen otteeseen valmistietokannat, joita on nykyään saatavilla jo muutamia. (Baumann et al. 2012; Herrmann et al. 2000; Laurin et al. 2006) Valmiit tietokannat tarjoavat todellista hyötyä juuri silloin, kun tuotetta halutaan analysoida ylemmällä tasolla tai tilanteissa, joissa riittää valmiiksi määritellyt materiaalien standardimuotoisten käsittelymenetelmien mallinnusdata. Valmiiksi määritetty data soveltuu juuri tuotekehityksen alkupäähän, jolloin tavoitteena on tehdä tuotekehityspäätöksiä erilaisten tuotekokoonpanojen välillä ja erityisesti vertailla eri kokoonpanojen ympäristövaikutuksia. (Baumann et al. 2012) Artikkeleissa mainitaan, että tällöin valmiiden tietokantojen tarjoama tuotetieto on riittävällä tasolla analyysin tavoitteisiin nähden. Edellä mainittujen seikkojen ohella pääsy valmiisiin tietokantoihin on myös yksi keino lyhentää analyysin vaatimaa aikaa.

Todellista joustavuutta järjestelmä tarjoaa silloin, kun se on yhteensopiva yrityksen käyttämien muiden tietojärjestelmien ja suunnitteluohjelmien kanssa. Kun tuotetieto on helposti siirrettävissä yrityksen käyttämistä tietojärjestelmistä suoraan elinkaarianalyysin käytettäväksi, säästetään tällöin aikaa, mutta myös vältetään inhimillisiltä virheiltä joita manuaalisessa tiedonsiirrossa saattaa tapahtua. Camp & Khalifa (2011) etenkin korostavat, että työkalun pitää olla helposti integroitavissa yrityksen omiin tietojärjestelmiin, jotta kaikki saatavilla oleva tieto pystytään helposti yhdistämään. Tällaisiksi tietojärjestelmiksi artikkeleissa mainitaan ERP, CAD sekä muut tietokannat. Lisäksi, erityisesti elektroniikkatuotteiden kannalta, työkalun tulisi olla BOM-yhteensopiva, sillä sen avulla tiedonkeruu helpottuu oleellisesti. (Otto et al. 2005; Baumann et al. 2012)

Tuotetieto ja siihen liittyvät ongelmat, niin saatavuuteen kuin työmäärään liittyen, on tutkimusaineistossa nostettu melko kriittiseksi esteeksi elinkaarianalyysin suorittamiselle. Työkalujen kehittämiseen keskittyneissä artikkeleissa aihe on tunnistettu erittäin tärkeäksi ominaisuudeksi, jonka ongelmien ratkaiseminen on oleellinen keino helpottaa LCA-työkalun käyttöä pk-yrityksissä. Tutkimusaineiston perusteella voidaan siis todeta, että tuotetiedon kannalta työkalun kehityksessä on ongelmiin osattu reagoida jo melko käytännöllisellä tasolla.

### *Resurssit*

Pienemmillä yrityksillä resurssit ovat rajalliset ja on yleistä, että yrityksen sisällä työntekijöiden toimenkuvat eivät ole yhtä selkeästi määriteltyjä kuin isommissa yrityksissä. Tästä syystä on hyvinkin tyypillistä, että pk-yrityksissä yksi henkilö vastaa jo valmiiksi monenlaisista työtehtävistä eikä erillistä ympäristöjohtamisen koneistoa yritykseen ole perustettu. Tällöin ympäristöjohtamisen edistäminen on käytännössä suoraan verrannollinen siihen, miten tärkeäksi yrityksessä ympäristöasioiden johtaminen koetaan. Resurssit koskevat ihmisresurssien ohella myös materiaaliressursseja ja yrityksen taloudellista tilannetta. Otto et al. (2005) nostavat esille taloudelliset syyt ja painottavat, että työkalujen tulee olla edullinen ratkaisu ja sen käyttämisestä tulee olla taloudellista hyötyä jo lyhyelläkin tähtäimellä. Artikkelisi korostaa, että pk-yrityksien motivointiin hyödyn-tää LCA:ta tarvitaan selkeitä strategioita, joiden avulla osoitetaan näiden toimien kannattavuus. Myös Laurin et al. (2006) painottavat artikkelissaan, että työkalun tulee olla kustannustehokas vaihtoehto pk-yritysten käyttöön. Artikkeleissa, jotka käsittelevät kustannustekijöitä, jäävät maininnat vain teoreettiselle tasolle eikä aihetta käsitellä kuin yleisen vaatimuksen muodossa. Lisäksi Schischke et al. (2006) mainitsevat artikkelis-saan, että usein ympäristöjohtamista käsittelevissä esimerkkitapauksissa (engl. *business cases*) kustannustehokkuusanalyysi on joko jätetty tekemättä tai esimerkkitapaus kuvai-lee mittaluokaltaan oleellisesti suuremman yrityksen tilannetta. Tällöin saavutettavissa olevat kustannussäästöt eivät ole niin läpinäkyvästi esitettyinä pk-yritysten näkökulmas-ta.

## *Hyöty*

Yrityksen liiketoiminnallisesta näkökulmasta on tärkeää, että pystytään osoittamaan ympäristöjohtamisen hyödyt suhteessa siihen kulutettuihin resursseihin nähden (Herrmann et al. 2000). Jos hyötyjä ei voida konkreettisesti nähdä ja määrällisesti osoittaa, ei ympäristöjohtamiseen liittyviä toimintojakaan nähdä kannattaviksi. Käytännöllisesti tarkasteltuna voidaan analyysin hyödyt nähdä tuloksia tarkastelemalla. Pk-yritysten kannalta monimutkaiset tulokset eivät edistä toiminnan kehittämistä, vaan pääpaino tulee olla tulosten yksinkertaisessa, mutta havainnollistavassa tuottamisessa. Kuten Alonso et al. (2012) mainitsevat, on havainnollistava elinkaariraportti yksinkertaisessa muodossa yksi tärkeimmistä elinkaarityökalun vaatimuksista. Yritys joutuu raporttoimaan toimintaansa eri tahoille, jolloin raportin tulee olla kustomoitavissa sidosryhmän tarpeiden mukaisesti. Tavallisesti tulokset on hyvä saada helposti niin kvantitatiivisessa kuin graafisessa muodossa (Alonso et al. 2012). Myös Jansen & Vercalsteren (2001) tuovat artikkelissaan esille, että sidosryhmäkommunikaatiossa mitattavat lukemat ovat tärkein keino viestiä sitä millaisia hyötyjä ja parannuksia on ekotehokkuuden myötä saavutettu.

Hyötyjen osoittaminen selkein raportein on työkaluja kehittelevissä tutkimuksissa otettu selkeään rooliin, jotta pk-yritykset voivat konkreettisesti nähdä saavutetut tulokset. Artikkeleissa on mainintoja siitä, että työkaluissa on hyvä olla erilaisia tulostusmuotoja, joiden avulla on mahdollista kohderyhmästä riippuen kommunikoida tehokkaasti ympäristöjohtamisen tilaa yrityksessä. Artikkeleissa on otettu huomioon se, että tuotekehitystä varten tarvitaan yksityiskohtaisempia raportteja kuin mitä tarvitaan yrityksen ulkopuoliseen kommunikaatioon.

## *Tuki*

Kirjallisuusaineiston perusteella voidaan havaita, että pk-yrityksissä elinkaarianalyysin lopputulosten luotettavuutta epäillään usein. Tämän mainitaan johtuvan tyypillisesti siitä, että pienten yritysten luottamus omaan osaamiseen ympäristöjohtamisen osalueissa ei ole suuri. Ympäristötoimien ja -johtamisen nykytilaa käsittelevässä tutkimuksessa Schischke et al. (2006) korostavat sitä, että pk-yrityksiltä puuttuu käytännön esimerkit, joiden avulla ympäristötyökalujen ja elinkaariarvioinnin saralla voitaisiin päästä hyvään alkuun. Artikkelin mukaan kirjallisuudessa löytyvät esimerkit ovat hyvin teoreettisia eikä niistä ole juurikaan ollut apua motivoimaan pk-yrityksiä ekodesignin täytäntöönpanossa.

Osaamisen puute heijastuu vahvasti siihen millaisia muutoksia pk-yritykset uskaltavat tuotteisiinsa tai tuotantotapoihinsa tehdä. Suurin tarve tuelle on silloin, kun yrityksen ovat vasta alkamassa integroida ympäristöjohtamista toimintaansa. Tämä tuki voi olla joko ostettu ulkoinen asiantuntijapalvelu tai esimerkiksi yhteistyö erilaisten akateemisten tahojen tai organisaatioiden kanssa. Pk-yritysten kannalta on erittäin tärkeää, että

työkalu on helposti saatavilla, ja että se on ylläpidetty toisen osapuolen toimesta. (Jansen & Vercalsteren 2001) Tuoreimmissa aihetta käsittelevissä artikkeleissa on työkalu suunniteltu nimenomaan tähän tarpeeseen vastaavaksi. Tutkimukset ovat keskittyneet suunnittelemaan online-työkaluja, joiden ominaisuutena on, että yksi versio on kaikkien saatavilla. (Jansen & Vercalsteren 2001; Schischke et al. 2012; Orgelet et al. 2012) Tällöin työkaluun tehdyt päivitykset eivät vaadi ohjelman erillistä päivittämistä vaan se on automaattisesti ajan tasalla (Orgelet et al. 2012). Ajantasainen ylläpito ja päivitys ovat tärkeitä jo aiemmin mainitun lainsäädännön näkökulmasta, mutta myös sen kannalta, että toimialalle tyypillisen nopean teknologiakehityksen vuoksi käytettävissä olevien tietokantojen päivityksen on onnistuttava helposti. Näin ollen pk-yritys voi keskittyä vain itse analyysin toteuttamiseen.

Se miten tärkeää osaaminen on LCA-analyysin suorittamisessa ja miten paljon tukea pk-yritykset todellisuudessa sen käyttämiseen tarvitsevat, ei korreloi akateemisen tutkimuksen tasoon nähden. Vaikka tuen merkitys on todettu erittäin tärkeäksi etenkin ympäristötyökalujen käyttöönottoaiheessa, on tutkimus jäänyt silti verrattain teoreettiselle tasolle. Toisaalta, online-työkaluja kehittävien organisaatioiden on tunnettava ympäristöjohtamisen ja elinkaarenhallinnan teoriaa voidakseen kehittää kaupallisesti menestyvän tuotteen. Tällöin pk-yritysten kannalta tukea on tarjolla edes jossain määrin.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä luvussa tarkastellaan diplomityön aihetta yhteenvedon muodossa eli esitellään tärkeimmät löydökset, joita tutkimusmateriaalin pohjalta analyysivaiheessa tehtiin. Analyysin lopputulosten avulla vastataan johdantokappaleessa asetettuun tutkimusongelmaan alemman tason tutkimuskysymysten avulla. Lisäksi tarkastellaan työn luotettavuutta käytetyn aineiston ja työn aiherajauksen onnistumisen näkökulmasta. Lopuksi pohditaan tutkielman aihepiiriä yleisellä tasolla ja annetaan diplomityön pohjalta ehdotukset alan tulevaisuudentutkimusta varten.

### 6.1 Nykytutkimuksen tila, pääkohdat ja fokus

Elektroniikkateollisuuden tuotteiden monimutkaisuus, materiaalit ja valmistustavat ovat tuotteen ympäristötaakkaan oleellisin vaikuttavat tekijät. (Herrmann et al. 2000, p.124; Guldbbrandsson & Bergmark 2012) Laitteiden monimutkaisuus aiheuttaa erityisiä haasteita tuotteista aiheutuvien ympäristötaakkojen ja niitä arvioivien työkalujen käyttöön ja ominaisuuksiin: monimutkaisten rakenteiden kattavaan mallintamiseen vaaditaan suuri määrä tarkkaa tuote- ja prosessi-informaatiota sekä analyttistä tietotaitoa ymmärtää laaja-alaisesti tuotteen aiheuttamaa ympäristökuormaa kaikissa sen elinkaaren eri vaiheissa. (Taiariol & Fea 2001). Modernit työkalut, joiden avulla systemaattista elinkaarianalyysia on mahdollista suorittaa, ovat tyypillisesti jäykkärakenteisia ja suunniteltu asiantuntijakäyttöön. Tällöin pienet ja keskisuuret yritykset ja heidän ympäristöjohtamistarpeensa eivät ole huomioituna, vaan pk-yritykset kohtaavat suuria ongelmia elinkaarenhallinnassa ja sitä arvioivien työkalujen käyttämisessä.

Diplomityössä tehdyn kirjallisuusaineistoon perustuvan analyysin pohjalta voidaan todeta, että käsitellyn aihepiirin akateeminen tutkimus on edelleen melko teoreettisella pohjalla eikä tutkimus siten palvele pk-yritysten tarpeita käytännönläheisten esimerkkien puuttuessa. Kaupallisia elinkaarityökaluja on tarjolla, mutta ne ovat liian kattavia ja kankeita pk-yritysten tarpeisiin. (Alonso et al. 2012) Kuitenkin, EU:n tasolta löytyy jo kehitysprojekteja suoraan pk-yrityksille eli nykyään pk-yritysten erityistarpeet ja ongelmat alkavat olla selkeästi tunnistettuina ja huomioituina. Lainsäädännöllisten velvoitteiden lisäämisen ohella pk-yrityksien ympäristöjohtamista on pyritty systemaattisesti tukemaan kansainvälisellä tasolla koko Euroopan laajuisesti.



### 6.1.1 Tutkimuskysymykset

Diplomityön ensimmäisessä luvussa määriteltiin tutkielman pääongelma ja vastausta tähän kysymykseen lähdettiin hakemaan pilkkomalla ongelma pienempiin osiin kolmen apukysymyksen avulla. Vastaus tämän tutkielman pääkysymykseen saadaan koottua vastaamalla työlle asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Ensimmäinen kysymys käsitteli tekijöitä, jotka vaikuttavat oleellisin pk-yritysten ympäristöjohtamiseen ja elinkaarenhallintaan. Tämän kysymyksen oleellisimpia näkökulmia tarkasteltiin luvussa 2, joka käsittelee ympäristölainsäädäntöä ja luvussa 4, jossa käydään läpi yritysten markkina-asemaan ja kysyntään liittyviä tekijöitä. Tarkemmin luvussa 2.2 esiteltiin oleelliset lainsäädännölliset vaatimukset tuotteiden ja tuotannon osalta. Lakivelvoitteet toimivat suurimpana motivaatiotekijänä ympäristöasioiden huomioonottamiselle, sillä yhteensopivuus vallitsevan lainsäädännön kanssa on liiketoiminnan edellytys. Käytännössä lakien kiristymiseen ei pk-yrityksissä kuitenkaan ai-neiston mukaan varauduta ennakolta vaan muutoksia tehdään vasta silloin, kun uusiin vaatimuksiin on pakko reagoida.

Lakien ohella ympäristöjohtamista pk-yrityksissä ajavat sosiaaliset tekijät. Luvussa 4.2 perehdyttiin tarkastelemaan pk-yrityksien asemaa globaalissa markkinaverkostossa ja analysoitiin toimittajan vaikutusmahdollisuuksia tuotteidensa elinkaarenhallinnassa. Oleellisia vaikuttimia pk-yrityksen toimintaan luovat emoyrityksen tavoitteet ja vaatimukset, eli paine oman tuotteen ympäristökuorman analysointiin ja ympäristötehokkuuden parantamiseen tulee tyypillisesti yrityksen ulkopuolelta. Luvussa 4.3 käytiin läpi yrityksen sisäisiä motivaatiotekijöitä elinkaarenhallintaan, joista tärkeimmät liittyvät kilpailija-analyysiin ja sisäisen toiminnan tehostamiseen. Nämä tekijät eivät kuitenkaan ole yhtä vahvoja kuin yrityksen ulkopuolelta tulevat paineet. Luvussa 4.4 analysoitiin kuluttajan merkitystä ekologisempien tuotteiden kehittämisessä. Pk-yritysten toimintaan tämä kuluttajien ympäristötietoisuuden leviäminen ei kuitenkaan kohdistu kuin välillisesti. Asiakkaiden vaatimukset kohdistuvat emoyhtiöihin, joille pk-yritysten tulee ympäristövaikutuksia kommunikoida esimerkiksi tuotetietoa tai sertifikaatteja tarjoamalla.

Toinen tutkimuskysymys liittyi suurimpien ongelmien määrittämiseen, jotka estävät elinkaariajattelun hyödyntämistä pk-yrityksissä. Tähän kysymykseen vastattiin yleisemmällä tasolla luvussa 4.5 ja tarkemmin luvun 5 analyysikappaleessa 5.3. Luvussa 4.5 käsitellään pk-yritysten ympäristöjohtamisen nykytilaa ja sen pohjalta voidaan yleisesti sanoa, että suurimmat esteet ovat vahvasti sidoksissa yrityksen kokoon ja ulkopuolisen tuen määrään. Luvussa 5.3 esitellään tarkemmin kirjallisuudessa eniten mainintoja saaneet esteet, jotka nähtiin suurimmiksi kompastuskiviksi elinkaarenhallinnan toteuttamisessa pienemmissä yrityksissä. Nämä tekijät ovat osittain samoja, jotka käsiteltiin ympäristöjohtamisen nykytilaa analysoivassa kappaleessa, mutta analyysissä ongelmat järjestettiin suuruusjärjestykseen kirjallisuusmainintojen mukaan. Suurimmiksi ongelmiksi elinkaarenhallinnalle pk-yrityksissä mainitaan vakavimmasta ongelmasta

lähtien: ajalliset tekijät, puuttuva osaaminen, tuotetiedon saatavuusongelmat, resurssivaive, analyysin monimutkaisuus ja tulosten luotettavuus. Yhteenvedoksi esiin nousseiden ongelmien perusteella voidaan kiteyttää, että suurimmat ongelmat liittyvät elinkaarenhallinnan työmäärään, joka koetaan liian resurssi-intensiiviseksi suhteutettuna pk-yrityksien henkilöstön määrään ja osaamisen tasoon.

Kolmas ja viimeinen tutkimuskysymys käsitteli erityistarpeita, joita elektroniikkateollisuuden pk-yritykset vaativat ympäristötyökalujen ominaisuuksiin liittyen. Tähän kysymykseen vastattiin myös analyysivaiheen luvussa 5 ja tarkemmin luvussa 5.3. Kuten elinkaarianalyysin suurimmat esteet, myös työkalun vaatimukset kerättiin aineistosta esiintyvien mainintojen perusteella ja ne järjestettiin tärkeysjärjestykseen esiintyneiden mainintojen lukumäärien pohjalta. Nämä ominaisuudet ovat tärkeysjärjestyksessä mainittuna: käyttäjäystävällisyys, helppo saatavuus ja taattu ylläpito, valmiit materiaalitietokannat, selkeät lopputulokset, edullinen hinta, lainsäädännön minimivaatimuksien huomiointi, integroitavuus yrityksen omiin tietojärjestelmiin sekä ajallinen tehokkuus. Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi tutkimusaineiston pohjalta nousevat käyttämisen helppous sekä ajallisesta että tietotaidollisesta näkökulmasta. Ajankäytön minimaalisuus, käytön helppous sekä tulosten luotettavuus osaamistasosta riippumatta koettiin erittäin tärkeiksi työkalun käyttämisen edellytyksiksi. Pk-yritykset tarvitsevat siis elinkaariajattelun toteuttamiseen LCA-työkalun, joka on nimenomaan suunniteltu pk-yritysten tarpeita ajatellen. Tärkeintä on saada ulkopuolista tukea, etenkin käyttöönoton alkuvaiheessa, jotta turhautuminen ei pysäyttäisi käyttöä vaan työkalujen käyttö muuttuisi arkipäiväiseksi toiminnaksi.

### 6.1.2 Tulevaisuuden kehityssuunnat

Oikeanlaisen työkalun kehittämisessä tärkeintä on tuntea pk-yritysten erityispiirteet ja näin ollen tunnistaa heidän suurimmat ongelmansa, jotka aiheuttavat kompastuskiviä toimeenpanossa. Tietyn muotin alle yrityksiä ei voida laittaa, sillä vaihtelua pk-yritysten erikoistarpeisiin aiheuttavat ratkaisevasti niin tuotteiden monimutkaisuus kuin yrityksen koko. Toisaalta tietynlaiset ominaisuudet kuten edullisuus, helppokäyttöisyys ja selkeys ovat kaikenkokoisten pk-yritysten kannalta työkalun positiivisia ominaisuuksia.

Schischke et al. (2006) mukaan mielenkiintoa ja halukkuutta ympäristötyökalujen käyttöön on jo olemassa, mutta niiden jokapäiväinen hyödyntäminen koetaan liian työlääksi odotettavissa oleviin hyötyihin nähden. Artikkelissa kerrotaankin pk-yritysten hyödyntävän työkaluja lähinnä pilottiprojekteissa, mutta niitä ei ole integroitu yrityksen päivittäisiin toimintoihin. Myös Orgelet et al. (2012) mainitsevat, että pk-yrityksillä on taipumusta käyttää elinkaariarviointia vain erikoistapauksissa. Tästä syystä kaikkein tärkeintä olisi pystyä osoittamaan ympäristöjohtamisen hyödyllisyyttä epäileville pk-yrityksille, että toiminnan ja tuotteiden elinkaarenhallinnalla on ympäristön kannalta todellisia hyötyä. Lisäksi on pyrittävä poistamaan näkemystä siitä, että ekodesignin on vain ylimääräinen kustannustekijä. (Otto et al. 2005)

Elinkaariarviointiin tarkoitettujen työkalujen kehittäminen tulisi yhä vahvemmin toteuttaa yhdessä pk-yritysten kanssa, jotta esimerkiksi asiantuntemuksen puute ja siitä aiheutuvat ongelmat eivät äidy eräänlaiseksi ongelmien ketjureaktioksi, jolloin työkalujen hyödyntäminen koetaan vaikeaksi. Lisäksi tulee keskittyä kehittämään keinoja aktivoida pk-yrityksiä mukaan, jotta heidän äänensä ja tarpeensa saataisiin parhaiten kuuluviin. (Alonso et al. 2012). Näin ollen mahdollisimman monella pk-yrityksellä olisi mahdollisuus käyttää työkaluja osaamistasostaan riippumatta.

Ihanteellisessa tilanteessa elinkaarianalyysiin suunnitellussa työkalussa olisi valmiiksi kattavat materiaaliadataa sisältävät tietokannat, jotka olisivat käyttäjäkunnasta riippumatta kaikkien saatavilla. Todellisuudessa tilanne on hyvinkin erilainen ja materiaalidatan saatavuus riippuu todella paljon työkalun käyttäjän asemasta. Nissen et al. (1997) ovat artikkelissaan tutkineet ympäristötyökalujen erilaisia käyttäjäsegmenttejä. He jakavat käyttäjät neljään eri kategoriaan, jotka ovat julkisen puolen asiantuntijat, teollisuuden päätöksentekijät, teollisuuden asiantuntijat ja tuotesuunnitteluinsinöörit. Kategoriat on jaoteltu asiantuntevuustason mukaan, mutta toisena luokittelua määrittävänä tekijänä on tiedon saatavuus. Kullakin luokittelukategorialla on omat rajoitteensa saatavilla olevaan tuotetietoon, jota he tarvitsisivat elinkaarianalyysin suorittamiseen. Liiketoiminnan ja kilpailun kannalta haasteena ovat datan saatavuuteen usein liittyvät yrityssalaisuudet eli salassapitovelvollisuus estää eri käyttäjäryhmiä jakamasta tuotetietoa vapaasti keskenään.

Mueller et al. (2004) korostavat, että yhteistyö tieteellisen tutkimuksen ja teollisuuden välillä kehittäen ympäristöjohtamisen keinoja on ainoa keino vastata kasvavaan paineeseen, joka tulee niin asiakkaiden, teollisuuden muiden toimijoiden tai lainsäätäjien taholta. LCA:n edelläkävijöiden tietotaidon, mutta myös käytettävissä olevan tuotetiedon jakaminen kaikille hyödyttää rajoittuneempia osapuolia. Tämä toive asettaa kuitenkin täysin uudenlaisen ongelman kilpailullisen puolen kannalta: mihin vedetään raja yhteisen hyödyn ja yrityssalaisuuksien suojelemisen välille? Nissen et al. (1997) korostavat, että vaikutusanalyysin syvyyden kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että työkalulla on pääsy kattaviin tietokantoihin. Ilman tuotedataa ei painotuksia käsiteltäville materiaaleille, tuotantoprosesseille ja reaktiotuotteille pystytä tekemään ja analyysin osa-alueita joudutaan tällöin supistamaan. Analyysin syvyyden säilyttämiseksi yhteisten tietokantojen kehitys on siten todella tärkeää. Baumann et al. (2012) painottavat panostamista laajan tietokannan kehittämiseen, jolloin tuotetiedon kattavuus on parempi eikä analyysissä tarvitse turvautua seuraavaksi parhaan vaihtoehdon käyttämiseen, joka tuo analyysiin suhteellista epävarmuutta.

Yhteistyössä kehitettyjen työkalujen ja tietokantojen kehittäminen on haasteellista myös siitä näkökulmasta, että työkalun sisältö on vahvasti toimialakohtaista. Tästä syystä geneerisen eli yleispätevän työkalun rakentaminen on vaikeaa. Yhteistyön tulisi olla siis toimialan sisällä tapahtuvaa yhteistyötä, joka oleellisesti vähentää yhteistyön piiriin kuuluvien tahojen määrää. Toimialakohtaiset asiat liittyvät toiminnallisuuksiin (engl.

*properties*), indikaattoreihin ja niihin liittyvään lainsäädäntöön. Oleelliset indikaattorit saattavat olla hyvinkin tuoteryhmäkohtaisia eli vaihtelua esiintyy myös toimialan sisällä. Ei siis riitä, että työkalu on suunniteltu elektroniikkateollisuuden tarpeisiin vaan työkalun tulisi olla muokattavissa, jotta se palvelee tarkasteltavaa kohdetta. (Camp & Khalifa 2011) Voidaankin siis puhua ennemmin tarpeesta monipuolisille ja joustaville työkaluille, jotka ovat kustomoitavissa niin tietokantojen kuin indikaattorikategorioiden avulla. Lisäksi riippuen analyysin kohteesta ja tarkoituksesta, voi olla tärkeää pystyä täydentämään olemassa olevan työkalun tietokantoja esimerkiksi lokaaleilla parametreilla, jos niiden tarkastelu analyysissä on oleellista ja otettava huomioon. (Nissen et al. 1997)

Kolmas tärkeä elementti yhteistyössä, joka kuitenkin vaatii toimialarajoja ylittävää yhteistyötä, liittyy monitoiminnallisten laitteiden mallintamiseen. Työkalujen joustavuus viedään tässä suhteessa äärirajoille, sillä monitoiminnallisten laitteiden tapauksessa on pystyttävä tuomaan arviointiin mukaan myös laitteeseen olennaisesti kuuluvien rinnakkaisteknologioiden ympäristövaikutukset. Jotta elektroniikkateollisuuden tuotteiden ympäristöjohtaminen ja elinkaarenhallinta voi kehittyä pidemmälle, tulee esimerkiksi käyttäjäprofiilien, ohjelmistojen ja verkkojen aiheuttamia vaikutuksia pystyä analysoidaan kokonaisympäristövaikutuksen tulkitsemiseksi. Positiivisena seikkana on mainittava, että LCA-työkalujen kehittäminen kansallisella tasolla koetaan nykyään yhä tärkeämmäksi ja useita vaihtoehtoja on tarjolla esimerkiksi Euroopan komission toimesta.

Elinkaarianalyysi juuri ISO-standardin määrittelemässä muodossa on yleinen lähtökohta akateemisissa tutkimuksissa. Mutta kuten työssä on tullut ilmi, on tämä menetelmä koettu pk-yritysten kannalta turhan kankeaksi prosessiksi yritysten resursseihin ja tarpeisiin verrattuna. (Alonso et al. 2012; Lindahl 1999) Kehityksen alla on tekniikoita, joiden tavoitteena on vähentää käyttäjältä vaaditun LCA-tietämyksen määrää. Näitä menetelmiä kutsutaan yleisellä termillä *walk through method*. Tällöin käyttäjän kannalta oleellista on vain omien tuotantoprosessien ja teknologioiden tunteminen. Pk-yritysten kannalta kehitys itseohjautuviin työkaluihin on tärkeää, sillä menetelmien kehittyminen pienentää pk-yritysten kynnystä aloittaa systemaattinen ympäristötyökalujen käyttäminen. (Laurin et al. 2006) Valmiiden asetusten lisäksi työkalun erityisesti pk-yrityksiä hyödyttävä toiminnallisuus on suositusten antaminen ja käyttäjän ohjailu. Näin myös suppeammalla tietotaidolla on mahdollista saada konkreettisia johtopäätöksiä ja keinoja muuttaa prosesseja. (Alonso et al. 2012)

Kirjallisuudessa korostuu selkeästi myös suppeamman työkalun vaihtoehto. Työkalun tulee sopia helposti yrityksen tarpeisiin, jotta sen käyttöönotto olisi mahdollisimman helppoa eikä muodostuisi kynnyskysymykseksi. Nissen et al. (1997) argumentoivat, että tuotesuunnittelussa ei niinkään tarvita tarkkoja figuureita tai numeroita vaan suuntaviivat ovat oleellisempia. Artikkelissa listataan, että ympäristöanalyysia voidaan yksinkertaistaa muutamasta eri näkökulmasta. Analyysi yksinkertaistuu keskivertodataa hyödyntämällä, lopputuloksien summaamisella, pienentämällä analyysin kohdetta (*scope*) tai

tarkastelemalla vaikutusanalyysissa vaikutuksia vain pienellä määrällä kategorioita. Myös Laurin et al. (2006) liputtavat, että pk-yritysten kannalta oleellisinta on tunnistaa vain kaikkein suurimmat ympäristökuormituksen lähteet. Artikkelin näkemys on, että yksinkertaistettu malli palvelee riittävän hyvin pk-yritysten ympäristöjohtamisen tarvetta. Jo mainittujen tutkimusten ohella myös Köhler et al. (2012) kannattavat nopeaa skannausta täysmittaisen analyysin sijaan.

Toinen näkökulma elinkaariarvioinnin yksinkertaisemmalle toteuttamiselle tuodaan vaihtoehtoisten työkalujen avulla. Ympäristöanalyysia voisi tutkia eri työkaluilla eri tuotekehityksen vaiheissa. Kuten Lindahl (1999) artikkelissaan ehdottaa, voisi kevyempiä työkaluja, kuten arviointimatriisia tai tarkistuslistoja, hyödyntää tuotteen konseptivaiheessa ja tarkemman suunnitelman ollessa valmis olisi täysmittaisen LCA:n vuoro. Ajatusta tukevat myös Köhler et al. (2012) näkemys siitä, ettei elinkaariarvion suorittaminen toimi tehokkaasti uuden teknologian kanssa, sillä tuotetietoa ei ole tarpeeksi saatavilla ja LCA:n mukainen määrittelytyö on mahdotonta. Myös Mueller et al. (2004) huomauttavat artikkelissaan, että muita tekniikoita elinkaarenhallintaan tulee tutkia pk-yrityksien tarpeita ajatellen. Artikkelissa mainitaan esimerkkinä input-output analyysi ja erityisen mielenkiintoiseksi nostetaan erilaisten loppuhävitysskenaarioiden tarkasteleminen ympäristötehokkuutta mittaavien indikaattorien avulla. Tällaisia indikaattoreita ovat esimerkiksi kierrätettävyyttä mittaava indikaattori RPI (engl. *Recycling Potential Indicator*) ja vaarallisia päästöjä mittaava indikaattori TEP (engl. *Toxic Emissions Potential*). Warburg et al. (2005) esittelevät niin sanotun *benchmarking* – metodin, jossa laatujohtamisessa käytettävää laatutaloa hyödynnetään ympäristöriskien kartoituksessa.

### 6.1.3 Tutkielman kriittinen arviointi

Diplomityö toteutettiin kirjallisuustutkielmana, jonka vuoksi suurin osa kirjoitetusta tekstistä nojaa lähdemateriaaliin eikä kokeelliseen tai haastatteluiden avulla tuotettuun tutkimusaineistoon. Tutkielman lopputuloksen laaja-alaisuus eri näkökulmien kannalta ja analyysivaiheen syvyys on siis suoraan verrannollinen siihen miten paljon materiaalia on kirjallisuudessa saatavilla. Jos aihetta on tutkittu paljon, voi kapeaksi rajattu diplomityöaihe rakentua hyvinkin kattavaksi tutkimukseksi. Tällöin kirjoittajalla ei ole ongelmia tuottaa sisältöä tai johdonmukaisia johtopäätöksiä, sillä lähdemateriaali tarjoaa erittäin vankan pohjan tutkielmalle. Tutkielman vahvan aineistoriippuvaisen luonteen vuoksi ihanteellinen tilanne olisi se, että kirjallisuudesta on löydettävissä paljon lähdemateriaalia, joka relevanttiuden perusteella järjestetään paremmuusjärjestykseen pohjautuen artikkeleista tehtyjen lähdeviittausten lukumäärään. Kattavan lähdemateriaalin tutkielmissa sisällytetään aineistoon vain oleellimmat tutkimukset ja siten varmistetaan lähdemateriaalin laadukkuus.

Tämän diplomityön kohdalla lähdemateriaalin määrä kyseisen aihealueen kohdalla oli erittäin niukkaa. Tämä asettaa omat haasteensa tutkielman toteuttamiselle, mutta myös omansa liittyen tutkimuksen lopputuloksen kattavuuteen ja todenmukaisuuteen. Kun

tutkimusaineistoa on vain vähän saatavilla, vaaditaan tutkielman rajaukselta paljon. Jotta tutkielma olisi tarpeeksi syvällinen, tulee rajauksen olla selkeä ja säilyttää melko kapea linjaus. Toisaalta kapea rajaaminen asettaa omat haasteensa sisällölle, jonka on kuitenkin tarjottava tarpeeksi laaja-alainen kuva tutkielman kohteesta. Erittäin rajallisen lähdemateriaalimäärän vuoksi tasapainon löytäminen aiheen rajauksen ja analyysin tarpeeksi syvällisen läpikäynnin välillä oli haasteellista. Lähtökohdista riippumatta tutkielman aiheen rajaaminen onnistui hyvin ja keskittyminen vahvasti aineiston analyttiseen arviointivaiheeseen toi tutkielmalle myös riittävää syvyyttä.

Kirjallisuustutkielman luotettavuuteen liittyy oleellisesti myös tutkielmaan sisällytettyjen artikkelien julkaisuajankohta. Edelleen ihanteelliseen tilanteeseen verrattuna analyysiin mukaan otetut tutkimukset ovat tuoreita eivätkä juurikaan yli kymmentä vuotta vanhoja. Tietysti on vahvasti käsiteltävästä aihealueesta kiinni voidaanko sanoa tutkimusten olevan jo vanhentuneita vai onko niissä mainitut teoriat edelleen voimassa. Elektroniikkateollisuuden ja etenkin ympäristöasioiden huomioinnin kehittyminen on ja on ollut nopeaan etenkin teknologian kehittymisen mutta myös nopeasti kasvavan ympäristötietoisuuden vuoksi. Tästä syystä tämän diplomityön lähdemateriaalin tulee olla tuoretta, sillä samat seikat, joita tutkittiin 1990-luvun loppupuolella, eivät enää ole ajankohtaisia ja niiden painopiste on jo moneen kertaan muuttunut. Tämä muutos pätee niin teknologian kehittymisen vuoksi, sillä elektroniikkateollisuuden tuotteiden lisäksi huomioitavia asioita ovat tuotteiden rinnakkaisteknologiat, mutta myös lainsäädännöllisessä mielessä. Tutkielman nojautuessa niukkaan lähdeaineistoon voidaan lopputuloksia kuitenkin pitää melko kapea-alaisina eikä kovinkaan luotettavina nykytilan määrittelijöinä. Etenkin tilanteissa, kuten tämän diplomityön kohdalla, joissa lähdemateriaalina on niukkuuden vuoksi käytetty myös julkaisuja ennen 2000-lukua, on tulos verrattain vanhentunut eikä siten kuvaa nykytilannetta. Toisaalta analyysiin sisällytettyjen artikkelien julkaisuajankohdan painottuminen on 2000-luvun puolella, joten uuttakin tutkimusta aiheesta on työhön saatu sisällytettyä.

Kirjallisuustutkielman luonteen, mutta myös valitun aiheen puitteissa toistolta on vaikeaa välttyä. Tässä työssä toisto on kuitenkin tapahtunut samojen aiheiden uudella tavalla lähestymistavalla eli aihepiiriin tietoja on pyritty analysoimaan usealta eri kantilta. Lisäksi käsitellyissä aihepiireissä on vahvaa keskinäistä linkittymistä, jolloin jo aiemmin mainittuja asioita joudutaan käsittelemään hieman uudelleen. Tästä hyvänä esimerkkinä voidaan ottaa pk-yritysten esteitä ja työkalun ominaisuuksia analysoiva kappale, jossa erillisinä mainitut ominaisuudet ovat vahvassa syy-seuraussuhteessa muiden ominaisuuksien kanssa, ja niitä tulee käsitellä myös yhdessä loogisen kokonaisuuden muodostamiseksi.

## 6.2 Pohdinta ja tulevaisuuden tutkimuskohteet

Jo ekodesignin alkua ajoilta, eli 90-luvun alkupuolelta lähtien, on tunnistettu tuotesuunnittelijoiden ratkaiseva rooli ympäristöystävällisten tuotteiden valmistuksessa (Holt

1994). Tästä syystä olisi loogista olettaa, että elinkaariarvioinnin tekemistä helpottavia toimia ja tekniikoiden käytännönläheistä kehittämistä olisi alettu toteuttaa jo paljon nykyistä aikaisemmin. Kirjallisuustutkielmaan perustuen nousee sellainen käsitys, että tilanteeseen on herätty vasta jätemäärien lisääntymisen, ympäristössä näkyvien muutosten ja luonnonvarojen vähentymisen realisoituessa. Ennakointi ei siis ole ympäristöjohtamisen saralla ollut vahvaa, vaan sen panostamiseen on herätty paljon myöhemmin kuin luonnon kannalta olisi ollut kannattavampaa. Tämä myöhäinen reagointi koskee yrityksiä niiden koosta riippumatta. Tosin suuremmissa yrityksissä ympäristöjohtaminen on jo paremmalla asteella selkeästi eri tasolla olevien resurssien vuoksi.

Yksi oleellinen huolenaihe liittyy maantieteellisestä sijainnista riippuvaan erilaiseen säätelyyn. Lainsäädäntö ja tuottajia koskevat määräykset, niin tuotantoon kuin tuotteiden loppukäsittelyyn liittyen, ovat radikaalisti eri tasolla verrattaessa Euroopan jäsenvaltioita esimerkiksi Aasian tai muun kehittyvän maanosan valtioihin. Halvemman hintatason maissa on kuitenkin suhteellisen paljon valmistavaa elektroniikkateollisuutta. Kauhukuvat kaatopaikoille pinoiksi kerääntyvästä elektroniikkajätteestä toivottavasti lisää ympäristöjohtamisen merkitystä globaalissa mittakaavassa, jotta ympäristön pilaantuminen ja uusiutumattomien luonnonvarojen kierrättäminen saadaan hallintaan. Avainasemassa ovat siis yrityssuhteet ja pk-yritysten kannalta korostuu vihreän toimintaketjun hallinta toimittajakeskeisessä tuottamisessa. Optimistisena ratkaisuna emoyhtiö voisi toimittajavalintaan vaikuttavilla kriteereillään epäsuorasti kannustaa toimittajia panostamaan toimintaansa ja edesauttaa ympäristömyönteisen aatteen leviämistä myös ulkomaisten pk-yritysten piiriin: elektroniikkavalmistajien markkinoilla kilpailu on kovaa ja toimittajasopimuksen saamiseksi pk-yritysten on kyettävä erottautumaan muiden vastaavien tuotteiden toimittajista.

Mielenkiintoisia havaintoja liittyen työkalun tärkeimpiin ominaisuuksiin pk-yritysten kannalta oli monia. Integroitavuus omiin tietojärjestelmiin tai hinta ei ollut niin keskiössä kuin olisi voinut olettaa. Oleellisempaa oli käyttämisen helppous ja se, että analyysistä saataisiin todellisesti jotain hyödyllistä irti selkeiden tulosten muodossa. Voidaan jäädä miettimään, että onko tämä indikaatio siitä, että muutoksia todella halutaan tehdä ja ympäristöystävällisyyteen panostaa, mutta samalla epäillään omaa osaamiskykyä, ja siksi käyttäjäkohtaiset ominaisuudet ovat artikkeleissa pääosassa. Tavallaan tämä voidaan nähdä todella positiivisena asiana, sillä pk-yritysten kannustamisesta ja inspiroimisesta on kirjallisuudessa ollut spekulatiota. Kuten muutamassa pk-yritysten ympäristöjohtamisen nykytilaan käsittelevässä artikkelissa mainitaan, eivät työkalun kehittämiseen keskittyneet projektit ole saaneet motivoitua pk-yrityksiä mukaan työkalun jatkokehitykseen. Artikkeleissa on mainittu melko suureksikin ongelmaksi se, ettei pk-yrityksiltä ole saatu palautetta pilottikokeilujen jälkeen.

Diplomityöhön sisällytetyn aineiston pohjalta saa melko ristiriitaisen kuvan siitä, että ovatko pk-yritykset todella motivoituneita tekemään muutoksia ympäristöasioiden tarkemmalle huomioimiselle. Toisaalta artikkeleista saa käsityksen, että pk-yrityksillä löy-

tyisi kiinnostusta systemaattisempaan ympäristöjohtamiseen, mutta siihen ei ole vielä löydetty oikeanlaisia pk-yritysten tarpeita huomioivia toimintatapoja tai työkaluja. Toisaalta taas, pk-yritykset eivät ole kiinnostuneita tekemään vapaaehtoisia niin sanottuja ennakoivia ja ylimääräiseksi koettuja toimia, vaan reagointi tapahtuu vasta kun toimittajaverkoston suuremmat toimijat tai kansallinen lainsäädäntö niin velvoittaa.

Edellä annetun pohdinnan ja diplomityössä suoritettujen analyysien pohjalta löydetään selkeitä aihealueita, joihin tulee panostaa tulevaisuuden tutkimuksessa. Ensinnäkin pk-yrityksille on tuotettava liiketoiminnan esimerkkitapauksia (*business case*). Käytännönläheisyys resurssi-intensiivisissä pk-yrityksissä on edellytys elinkaarenhallinnalle ja ympäristöjohtamiselle. Eritoten vähemmälle huomiolle ovat jääneet reaali maailman tutkimukset elinkaarenhallinnan kustannusseikoista ja hyötynäkökuluista (*eco costs*), joten keskittyminen juuri näihin tekijöihin voidaan nähdä todellisesti hyödyttävän pienempiä yrityksiä. Käytännönläheisyys korostuu myös toisessa ehdotettavassa tulevaisuuden tutkimuskohteessa eli elinkaarenhallintaan tarkoitettujen työkalujen kehittämisessä entistä lähempänä niiden käyttäjäkuntaa. Vain tarpeeksi intensiivisellä yhteistyöllä voidaan saavuttaa pk-yritysten tarpeita vastaavia lopputuloksia.

Yhteistyön merkitys korostuu myös kolmannessa ehdotuksessa. Jotta ympäristötietoisuutta saadaan levitettyä maantieteellisesti yhä laajemmalle alueelle, tulee emoyrityksille kehitellä entistä tehokkaampia strategioita panostaa tuottajayhteistyöhön ja kommunikaatioon toimittajaverkoston sisällä. Tiedonvälityksellä eri toimijoiden kesken on kaksi eri vaikutusta. Toinen niistä parantaa elinkaariarviointiin sisällytettävän tuotetiedon saatavuutta ja tekee analyyseistä tarkempia ja todenmukaisempia. Toisaalta kommunikaation parantuessa ympäristöjohtamisen osa-alueet tulevat tutuksi myös toimittajille. Neljäs ja viimeinen tutkimusaineistoon perustuva ehdotus tulevaisuuden tutkimuskohteeksi on keskittyminen tarkastelemaan rinnakkaisteknologioiden vaikutuksia osana elektroniikkateollisuuden tuotteiden ympäristövaikutuksia. Erityisen kiinnostavia tutkimuskohteita ovat langattomat verkostot ja niiden aiheuttamat ympäristöhaitat. Lisäksi tutkielmassa jo aiemmin mainittujen ohjelmistojen merkityksen analysointi on tärkeää: millä tavoin ohjelmistot vaikuttavat tuotteiden elinkaareen ja niiden elinikään tai millainen vaikutus ohjelmistoilla on käyttäjiin tai energiansäätelyyn.

On tosiasia, että nykypäivän valinnoilla on suuri merkitys tulevaisuuden kannalta. Nykypäivän tuotteilla ja niihin suunnitteluilla materiaalikokoonpanoilla ja -rakenteilla on suuri merkitys mietittäessä tulevaisuuden jätevirtoja. Huolestuttavaa onkin kulutustuotteiden kulutuskeskeisyys ja yhä lyhenevät tuote-elinkaaret. Kulutustuotteita ei lähtökohdaisesti suunnitella pitkäikäisiksi. Lisäksi on tyypillistä, ettei laitteita ole helppoa huoltaa. Huollettavuus pidentää oleellisesti rikkoutuneen laitteen käyttöikää, mutta tyypillisesti komponenttien vaihtaminen on kuluttajalle joko liian kallista tai huoltotyöhön kuuluu asiakkaan näkökulmasta liikaa aikaa. Valintoja, joita tehdään tänään, ei voida pitää riippumattomina tulevaisuudesta, sillä niiden merkitys ympäristön kuormituksessa korostuu tuotteen elinkaaren loppuvaiheessa. Täten kestävä kehityksen kannalta on tärke-



ää suunnitella tuotteita huomioiden tuotteen koko elinkaari ja siten niiden merkitys tulevaisuuden yhteiskunnan kannalta. Ekoinnovaatioiden merkitystä tulee korostaa ja tuottajia kannustaa uusien innovaatioiden kehittämiseen noudattaen aineistosta poimittua hyvin kuvaavaa lainausta ”*Design to improve, not to obsolete*” Holt (1994).

## LÄHTEET

- Alonso, J. C., Rodrigo, J., Canellas, N. & Chancerel P. 2012. How to support SMEs in the sustainable design of their products. The LiMaS project approach. *Electronics Goes Green 2012+, EGG 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings*. Berlin, ss. 1- 6.
- Andersen, O., Hille, J., Gilpin, G. & Andrae, A. S. G. 2014. Life Cycle Assessment of Life Cycle Assessment of Electronics. *IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*. Portland, OR, ss. 22–29.
- Azapagic, A., 1999. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journal*, 73(1), ss.1-21.
- Baumann, M., Held, M., Herrmann, C., Saraev, A., Riese, O. & Steininger, H. 2012. Ecodesign tool for SMEs in the electronics sector. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG) 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings*. Berlin, ss. 1-8.
- Besiou, M., Van Wassenhove, Luk N., Williams, I. et al., 2012. Enablers and Barriers for Producer Responsibility in the Automotive Sector. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG) 2012*. Berlin, ss. 1-6.
- Camp, O. & Khalifa, K. 2011. A novel approach and tool adapted to the eco-design of consumer electronic goods. *Proceedings of the International Symposium on Consumer Electronics, ISCE*. ss. 454-457.
- Charter, M. 2001. Integrated product policy and eco-product development. *Greenleaf Publishing Ltd*. ss. 98-116.
- Deubzer, O., Nissen, N. F & Lang, K-D. 2012. Overview of ROHS 2.0 and Status of Exemptions. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG), 2012*. Berlin, ss. 1-6.
- Ellinghaus, P.U. 2012. Europe Leads the Way ? – Wrong Turns and High Roads taken by Environmental Laws on Electronics. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG), 2012*. Berlin, ss. 1-6.
- Enterprise Europe Network 2013. ELEEN 2.0. Saatavissa: <http://www.ecodesign-eeen.eu/aboutSubProject.asp?pid=1> [Viitattu: 7.5.2016]
- Finnveden, G., Hauschild, M. & Ekvall, T. et al. 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), ss.1-21.
- Guldbrandsson, F. & Bergmark, P. 2012. Opportunities and limitations of using life cycle assessment methodology in the ICT sector. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG), 2012*. Berlin, ss.1-6.
- Hauschild, M.Z., Jeswiet, J. & Alting, L. 2004. Design for Environment — Do We Get

- the Focus Right? *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 53(1), ss.1-4.
- Van Hemel, C. & Cramer, J. 2002. Barriers and stimuli for ecodesign in SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 10(5), ss.439-453.
- Herrmann, C., Betz, M., Kreissig, J. & Itsubo, N. 2000. Generic modules based LCA in electronics industry-a case study. In *Electronics and the Environment, 2000. ISEE 2000*. ss. 124-129.
- Hillary, R. 2004. Environmental management systems and the smaller enterprise. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), ss.561-569.
- Holt, H. R. 1994. A first step in electronic ecodesign. *Proceedings of 1994 IEEE International Symposium on Electronics and The Environment*. ss. 191-195.
- ISO 14040:1997. Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.
- Jansen, B. & Vercalsteren, A. 2001. Eco-KIT: webbased ecodesign toolbox for SMEs. *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2001. Proceedings EcoDesign 2001: Second International Symposium on*. Tokyo, ss. 234-239.
- Judl, J., Mattila, T., Seppälä, J. et al. 2012. Challenges in LCA comparisons of multifunctional electronic devices. In *Electronics Goes Green 2012+, (EGG) 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings*. Berlin ss. 1-5.
- Karlsson, R. & Luttrupp, C. 2006. EcoDesign: what's happening? An overview of the subject area of EcoDesign and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), ss.1291-1298.
- Kärnä, A. 2005. *EU:n uudet ympäristödirektiivit*, Helsinki: Teknologiateollisuus ry.
- Kärnä, A. & Malmström, P. 2001. *Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu - Opas sähkö- ja elektroniikkateollisuuden yrityksille 2. painos*, Tampere: Teknologiateollisuus ry.
- Köhler, A. R., Lauterbach, C., Steinhage, A. et al. 2012. Life cycle assessment and eco-design of a textile-based large-area sensor system. *Electronics Goes Green 2012+, (EGG) 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings*. Berlin, ss. 1-8.
- Laurin, L., Norris, G. & Goedkoop, M. 2006. Automated LCA - A practical solution for electronics manufacturers? *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2006, ss.6-8.
- Lindahl, M. 1999. E-FMEA-a new promising tool for efficient design for environment. *EcoDesign '99: First International Symposium On Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. Tokyo, ss. 734-739.
- Luttrupp, C. & Lagerstedt, J. 2006. EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic

- advice for merging environmental aspects into product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16), ss.1396-1408.
- Mueller, J., Griese, H., Schischke, K. et al. 2004. Life cycle thinking for green electronics: basics in ecodesign and the UNEP/SETAC life cycle initiative. *Proceedings of 2004 International IEEE Conference on the Asian Green Electronics (AGEC)*. ss. 193-199.
- Nissen, N. F., Griese, H., Middendorf, A. et al. 1997. Environmental assessments of electronics: a new model to bridge the gap between full life cycle evaluations and product design. *Proceedings of the 1997 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment. ISEE-1997*, ss.182-187.
- Orgelet, J., Fabre, Y. & Quesne, A. 2012. Development of a tool for simplified life cycle assessment and ecodesign of electrical and electronic products. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG), 2012*. Berlin, ss. 1-5.
- Otto, H. E., Mandorli, F. & Germani, M. 2005. Integrated Product Policy and distributed supplier structures: SME and sound LCA data in conflict. *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2005. Eco Design 2005*. Tokyo, ss. 430-437.
- Peltonen, S., Piipponen, O.-P. & Sorvari, L. 2007. *Teknoliateollisuuden julkaisuja, ROHS Käytännössä - Opas direktiivin mukaiseen toimintaan*, Helsinki: Teknoliateollisuus ry.
- Prendeville, S., O'Connor, F. & Palmer, L. 2011. Barriers and benefits to ecodesign: A case study of tool use in an SME. *Proceedings of the 2011 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST 2011*.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R. et al. 2004. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5), ss.701-720.
- Rhodes, S. P. 1993. Applications of life cycle assessment in the electronics industry for product design and marketing claims. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. ss. 101-105.
- Rubik, F. & Scholl, G. 2002. Integrated Product Policy ( IPP ) in Europe — a development model and some impressions 1. *Journal of Cleaner Production*, 10, ss. 507-515.
- Schischke, K., Nissen, N. F., Sherry, J. et al. 2012. Life Cycle Thinking in Small and Medium Sized Enterprises – Status Quo and Strategic Needs in the Electronics Sector. *Electronics Goes Green 2012+, (EGG) 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings Green 2012*. Berlin, ss. 1-6.
- Schischke, K., Mueller, J. & Reichl, H. 2006. EcoDesign in European Small and

- Medium Sized Enterprises of the Electrical and Electronics Sector. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. ss. 233-238.
- St-Laurent, J., Hedin, D., Honée, C. & Fröling, M. 2012. Green electronics? - An LCA based study of eco-labeling of laptop computers. *Electronics Goes Green 2012+ (EGG), 2012*. Berlin, ss. 1-4.
- Taiariol, F. & Fea, P. 2001. Life cycle assessment of an integrated circuit product. *Electronics and the Environment, 2001. Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium*. Denver, CO, ss. 128-133.
- Tukker, A., Eder, P., Charter, M. et al. 2001. Eco-design : The State of Implementation in Europe Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*, 1(3), ss.147-161.
- Tukker, A., Haag, E. & Eder, P. 2000. *Eco-design : European state of the art Part I : Comparative analysis and conclusions An ESTO project report*.
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) 2015. CE-merkintä. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/toimialat/kuluttajaturvallisuus/ce-merkki/> [Viitattu: 7.12.2015].
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) 2016a. CLP-asetus. Saatavissa: <http://www.kemikaalineuvonta.fi/fi/EU-asetukset/CLP-asetus/> [Viitattu: 15.2.2016].
- Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) 2016b. REACH-asetus. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Teollisuus--ja-kuluttajakemikaalit/REACH---asetus/> [Viitattu: 15.2.2016 ].
- Valkama, J. & Keskinen, M. 2008. Comparison of simplified LCA variations for three LCA cases of electronic products from the ecodesign point of view. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*.
- Warburg, N., Braune, A., Eyerer, P. et al. 2005. Environmental indicators for ICT products - A practical approach based on four steps. *Electronics and the Environment, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium*. ss. 226-230.
- Westkämper, E. 2000. Life Cycle Management and Assessment: Approaches and Visions Towards Sustainable Manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49(2), ss.501-526.
- Ying, L., Caluwel, N. De & Stevels, A. 2005. Design for Green Electronics, a great potential is still ahead. *Asian Green Electronics, 2005. AGECE*. ss. 14-24.
- 2003/361/EY. Mikroyritysten sekä pienten ja keskisuurten yritysten määritelmästä.

2005/32/EC. For the setting of ecodesign requirements for energy-using products.

2006/1907/EY. Kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoituksesta (REACH).

2011/65/EU. Vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa.

## LIITE A: KIRJALLISUUSTUTKIELMAN SANAHAUT

Elektroniikka ja ekodesign:

lca **OR** life cycle assessment **AND** electronics, life cycle thinking **AND** electronics

Elektroniikka ja pk-yritys:

lca **OR** life cycle assessment **AND** sme **OR** small and medium enterprises, small to medium enterprises **AND** eco-design tool, eco-design **AND** sme **OR** small and medium enterprises

## LIITE B: KIRJALLISUUSTUTKIELMAN ARTIKKELIEN ANALYYSI

**Taulukko 6** Ydinartikkeleiden analyysi: Aineiston analyysi nelikentän akseleiden mukaan, jossa Y- akselin arvoista Y = yleistutkimus, T = työkalu ja X-akselin arvoista T = teoreettinen, K = konkreettinen.

Vuosi	Kirjoittaja	Y-akseli	X-akseli (näkökulma)
1999	Lindahl	Y	T + K
2001	Jansen & Vercalsteren	T	T + K
2005	Mandorli et. al	T	K
2006	Schischke et. al	Y	T
2011	Prendeville et. al	Y	T
2012	Baumann et. al	T	T + K
2012	Kohler et. al	Y	K
2012	Alonso et. al	T	T + K
2012	Schischke et. al	T	T

**Taulukko 7** Ydinartikkeleita tukevan aineiston analyysi nelikentän akseleiden mukaan, jossa Y- akselin arvoista Y = yleistutkimus, T = työkalu ja X-akselin arvoista T = teoreettinen, K = konkreettinen.

Vuosi	Kirjoittaja	Y-akseli	X-akseli (näkökulma)
1993	Rhodes	T + Y	T
1997	Nissen et. al	T + Y	T + K
1998	Betz et. al	Y	T
2000	Herrmann et. al	T + Y	T + K
2001	Taiariol et. al	T + Y	K
2004	Mueller et. al	Y	K
2005	Warburg et. al	Y	T
2006	Laurin et. al	T	T + K
2008	Valkama & Keskinen	Y	K
2011	Camp et. al	T + Y	T
2012	St-Laurent et. al	T + Y	K
2012	Judl et. al	T + Y	K
2012	Orgelet et. al	T	T
2014	Andersen et. al	T + Y	K